CONTRACT SERIAL NO. 23440-1-9130-01-SQ

CONTRACTOR: MON-TER-VAL INC.

CENTRE DE RECHERCHES MINÉRALES
EXPÉRIMENTATION DE L'INONDATION
DU PARC À RÉSIDUS MINIERS
SOLBEC-CUPRA (PHASE III)
RAPPORT D'ÉTUDE
N/RÉF.: HG-153

Received
March 23, 1992

193 pp + figs

MONTERVAL INC.
V/DOSSIER N° 7125G-028-APVI
MARS 1992

MONTERVAL

MICROMEDIA

1-9130

TABLE DES MATIÈRES

1.0 INTRODUCTION 4

2.0 CONDITIONS GÉOTECHNIQUES ET HYDROGÉOLOGIQUES DU SITE 6

2.1 Travaux de reconnaissance 6
2.1.1 Levés sismiques 6
2.1.2 Forages géotechniques 7
2.1.3 Travaux d'arpentage 10
2.1.4 Travaux de laboratoire 10
2.2 Nature et propriétés du terrain 12
2.2.1 Résidus miniers 12
2.2.2 Tourbe 13
2.2.3 Matériaux silto-argileux 14
2.2.4 Matériaux silteux et silto-sableux 14
2.2.5 Socle rocheux 16
2.3 Bilan hydrologique 17

3.0 EXPÉRIMENTATION DE L'INONDATION 19

3.1 Généralités 19
3.2 Revue de la documentation 20
3.3 Synthèse des phases I et II 22
3.3.1 Phase I 22
3.3.2 Phase II 25
3.4 Installation du bassin expérimental de la phase III 30
3.5 Suivi environnemental 31
3.5.1 Échantillonnage et analyse des résidus miniers . . 31
3.5.2 Échantillonnage et analyse de l'eau 34
3.5.3 Résultats des mesures et analyses 37
3.5.3.1 Valeurs de pH 38
3.5.3.2 Valeurs de potentiel d'oxydoréduction (Eh) 39
3.5.3.3 Valeurs de conductivité électrique (Ks) 41
3.5.3.4 Concentrations en oxygène dissous (O_2) . . 44
3.5.3.5 Alcalinité 46
3.5.3.6 Dureté 47
3.5.3.7 Concentrations en calcium (Ca) et magnésium (Mg) 48
3.5.3.8 Concentrations en sulfates 49
3.5.3.9 Concentrations en cyanures 51
3.5.3.10 Concentrations en métaux lourds 51
3.5.3.11 Analyses bactériologiques sur les résidus 54
3.6 Analyse et interprétation des résultats 55

.../2

TABLE DES MATIÈRES (suite)

4.0 EFFET DES VENTS ET DU SOLEIL SUR LA MISE EN SUSPENSION DES PARTICULES FINES DANS UN ÉVENTUEL PLAN D'EAU 62

4.1 Généralités 62
4.2 Analyse des données météorologiques locales 63
4.3 Granulométrie des résidus 64
4.4 Vitesses de déposition des particules 64
4.5 Vitesses critiques d'entraînement des particules 66
4.6 Courants et turbulences générés par le vent 66
4.7 Commentaires et limites de l'analyse 70

5.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS 70

6.0 PERSONNEL 73

APPENDICE 1 - RAPPORTS DE FORAGE ET RÉSULTATS DES ESSAIS DE PERMÉABILITÉ

APPENDICE 2 - RÉSULTATS DES ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES

APPENDICE 3 - RAPPORT DE SIAL GÉOSCIENCES INC.

APPENDICE 4 - TABLEAU DES MESURES DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

APPENDICE 5 - GRAPHIQUES DE L'ÉVOLUTION DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

APPENDICE 6 - CERTIFICATS D'ANALYSE

APPENDICE 7 - RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

DESSIN - PLAN DE LOCALISATION

MONTERVAL
Géotechnique Contrôle qualitatif

Mon-ter-val Inc.
3245, Grande Allée, Boisbriand, QC
J7H 1E4
Tél. (514) 430-9112 1-800-361-7718
Télécopie (514) 430-9555
Telex 05 825571

442 avenue Centrale, Val d'Or, QC
J9P 1P5
Tél. (819) 824-6894
Télécopie (819) 824-3762

CENTRE DE RECHERCHES MINÉRALES
EXPÉRIMENTATION DE L'INONDATION
DU PARC À RÉSIDUS MINIERS
SOLBEC-CUPRA (PHASE III)
RAPPORT D'ÉTUDE
N/RÉF.: HG-153

1.0 INTRODUCTION

En juin 1991, MONTERVAL INC. était mandaté par le Centre de recherches minérales du Québec (Ministère de l'énergie et des ressources) pour réaliser la phase III de l'étude d'expérimentation de l'inondation du parc à résidus miniers Solbec-Cupra localisé en Estrie, dans la municipalité de Stratford-Centre.

La phase III de l'étude d'expérimentation vise essentiellement à compléter les données de terrain obtenues au cours des phases précédentes I et II réalisées sur le site depuis 1989, et a comme objectif ultime de permettre de statuer sur l'efficacité et la faisabilité de l'inondation comme scénario éventuel de réhabilitation du parc à résidus. Les objectifs spécifiques du mandat d'étude tels que définis dans la proposition de MONTERVAL (mai 1991) sont les suivants:

- Évaluer les paramètres hydrogéologiques des dépôts meubles et du roc en place, et calculer le bilan en eau du bassin hydrographique afin de s'assurer que la couverture d'eau prévue pourra être maintenue en période d'étiage.

- Compléter les installations expérimentales en chantier, et grâce au suivi régulier et aux analyses, observer l'évolution physico-chimique des eaux interstitielles ainsi que les variations des niveaux d'eau.

- Préciser par des analyses des échantillons liquides et solides certains paramètres importants reliés aux processus observés tels le pouvoir neutralisant des couches en présence et l'activité bactérienne reliée au drainage minier acide.

- Vérifier l'effet théorique des vents et du soleil par la remise en suspension des particules dans l'éventuel plan d'eau.

Le présent rapport renferme toute l'information recueillie au chantier et en laboratoire dans le cadre de la présente étude. Les appendices 1, 2 et 3 présentent les résultats des travaux de reconnaissance effectués dans l'enceinte du parc à résidus. À l'appendice 1, on trouve les rapports des forages F-1 à F-4 précédés de notes explicatives. Sur ces rapports sont indiqués la description détaillée des couches de terrain rencontrées à l'endroit des forages exécutés et les résultats des essais effectués en chantier. Les données et les résultats des essais de perméabilité effectués suivent les rapports de forage correspondants. L'appendice 2 contient les résultats des analyses granulométriques réalisées en laboratoire sur des échantillons représentatifs récupérés dans les forages. L'appendice 3 contient le rapport de Sial Géosciences Inc. donnant les résultats détaillés des travaux géophysiques. Aux appendices 4, 5 et 6, sont consignés les résultats des relevés, mesures et analyses effectués en rapport avec l'expérimentation de l'inondation

dans les bassins expérimentaux installés sur le site du parc. Ainsi, les résultats des relevés de niveau d'eau dans les bassins et les piézomètres, et les résultats des mesures de pH, de potentiel d'oxydoréduction (Eh), de conductivité électrique (Ks) et du pourcentage d'oxygène dissous (O_2) effectuées au terrain sur des échantillons d'eau provenant des bassins et des piézomètres sont présentés en tableau à l'appendice 4. L'évolution des paramètres physico-chimiques (pH, Eh, Ks, O_2) de l'eau est également illustrée sous forme de graphiques en fonction du temps à l'appendice 5. Les résultats des analyses chimiques réalisées en laboratoire sur des échantillons d'eau provenant des bassins et des piézomètres (alcalinité, dureté, cyanures, sulfates, calcium et métaux), et les résultats des analyses bactériologiques exécutées sur des échantillons de résidus prélevés au fond des bassins expérimentaux apparaissent sur les certificats d'analyse à l'appendice 6. L'appendice 7 du rapport présente la liste bibliographique des principaux ouvrages consultés pour la préparation du rapport. À la section "Dessin" enfin, on trouve en pochette un dessin de localisation indiquant l'emplacement des travaux réalisés et un dessin montrant les profils géophysiques et stratigraphiques du terrain.

2.0 CONDITIONS GÉOTECHNIQUES ET HYDROGÉOLOGIQUES DU SITE

2.1 Travaux de reconnaissance

2.1.1 Levés sismiques

Des levés de sismique réfraction ont été effectués sur le site entre le 13 et le 16 juillet 1991. Ces levés ont été effectués par Sial Géosciences Inc. selon des axes implantés sur le terrain par Monterval, dans le but principalement de déterminer l'épaisseur des résidus miniers et des sols meubles dans l'enceinte du parc à résidus existant.

Les levés sismiques numérotés LS-1, LS-2 et LS-3 ont été effectués selon un axe longitudinal d'une longueur de 934,66 m (LS-1) et deux axes transversaux mesurant 507,25 et 589,82 m (LS-2 et LS-3 respectivement). Une description détaillée de la méthode de travail et de l'équipement utilisé en chantier, ainsi que l'interprétation des résultats obtenus sont présentées dans le rapport de Sial Géosciences Inc. contenu à l'appendice 3 du présent rapport. L'emplacement des axes et les profils sismiques déterminés apparaissent sur les dessins insérés à la fin du rapport.

2.1.2 Forages géotechniques

Quatre (4) forages ont été effectués sur le site entre le 22 juillet et le 2 août 1991. Les forages numérotés F-1 à F-4 ont été exécutés à l'aide d'une foreuse à diamant de type CME montée sur un chenillard, et en utilisant des tubes de retenue de calibre HW et NW. Les quatre (4) forages exécutés ont été arrêtés dans le socle rocheux à une profondeur comprise entre 13,62 et 26,16 m sous la surface du terrain existant.

Dans les forages F-1 à F-3, des échantillons de matériaux meubles ont été prélevés généralement à l'aide d'un carottier fendu de 51 mm de diamètre, et localement à l'aide d'un tube à paroi mince de type "Shelby" de 73 mm de diamètre. Les échantillons ont été prélevés de façon continue dans les couches superficielles de résidus miniers et de tourbe, puis par la suite selon des intervalles compris généralement entre 1,5 et 3,0 m. Conjointement à la prise d'échantillons à l'aide du carottier fendu, des valeurs d'indice de pénétration standard indicatrices de l'état de compacité des matériaux ont été obtenues. Le roc a été foré à l'aide d'un carottier double diamanté de calibre "NQ" donnant des carottes de 47,6 mm de diamètre. À l'endroit des forages F-1, F-2 et F-3, le roc a été échantillonné sur des longueurs

respectives de 5,99, 5,30 et 5,08 m. Il est à noter que le forage F-4 exécuté à proximité du forage F-3 a été réalisé en destructif, sans échantillonnage, spécifiquement pour l'installation de piézomètres.

Des essais de perméabilité ont été effectués à l'endroit des forages F-1, F-2 et F-3, dans les différentes unités stratigraphiques identifiées. Les essais ont été réalisés en bout de tubage au fur et à mesure de l'avancement des forages, et à niveau d'eau descendant. En tout, quatorze (14) essais ont été effectués permettant une estimation de la conductivité hydraulique.

Des piézomètres hydrauliques ont été installés dans les forages F-1, F-2 et F-4, à raison de deux piézomètres par forage. Les piézomètres désignés P-1A et -1B, P-2A et -2B, et P-4A et -4B sont constitués d'une cellule poreuse de 25,4 mm de diamètre et de 200 mm de longueur, et sont munis de tubes rigides de plastique inerte. Les piézomètres (cellule poreuse) ont été installés dans une lanterne de sable drainant (calibre 16), et ont été scellés à l'aide d'un bouchon supérieur et d'un bouchon inférieur de bentonite (billettes) dans le cas des piézomètres installés dans le sol meuble, et à l'aide d'un bouchon supérieur uniquement dans le cas des piézomètres installés dans le roc. Un tube de plastique inerte de 100 mm de diamètre avec bouchon a été laissé à l'endroit des forages F-1, F-2 et F-4 pour protéger la partie des tubes piézométriques hors sol. Les schémas d'installation des piézomètres apparaissent sur les rapports de forage à l'appendice 1. Le tableau 2.1 résume les données d'installation de chacun des piézomètres, et indique notamment les profondeurs et les niveaux d'installation des cellules piézométriques.

TABLEAU 2.1: CENTRE DE RECHERCHES MINÉRALES
EXPÉRIMENTATION DE L'INONDATION DU PARC A RÉSIDUS
SOLBEC-CUPRA (PHASE III)
DONNÉES D'INSTALLATION DES PIÉZOMETRES - FORAGES

FORAGE (F) OU PIÉZOMETRE (P) N°	SURFACE DU TERRAIN EXISTANT Niveau géodésique (m)	CELLULE POREUSE			TUBE PROTECTEUR Niveau géodésique du dessus du tube (m)
		Profondeur de l'extrémité inférieure (m)	Niveau géodésique de l'extrémité inférieure (m)	Unité stratigraphique	
F-1	328,376				329,006
P-1A		5,59	322,79	Résidus miniers	
P-1B		25,91	302,47	Substratum rocheux	
F-2	326,731				327,275
P-2A		5,44	321,29	Tourbe	
P-2B		14,76	311,97	Substratum rocheux	
F-3(F-4)	327,052				327,637
P-4A		9,88	317,17	Till	
P-4B		13,61	313,44	Substratum rocheux	

2.1.3 Travaux d'arpentage

Les travaux d'arpentage requis dans le cadre du présent mandat ont été confiés à Les Consultants S.M. Inc., et ont été effectués le 8 août 1991. Ces travaux ont comporté:

- un relevé des axes de levé sismique LS-1, LS-2 et LS-3 implantés sur le site à l'aide de piquets placés tous les 40 m;
- un relevé des points de forage F-1, F-2, F-3(F-4), et des tubes protecteurs des piézomètres;
- un relevé de l'emplacement des bassins 89, 90 et 91, et des piézomètres P-4, P-5 et P-6 installés avant 1991.

En planimétrie, les coordonnées des points relevés ont été déterminées dans un système de coordonnées arbitraires, et à partir de stations d'arpentage installées par Les Consultants S.M. Inc. lors de travaux antérieurs sur le site exécutés en 1989. En altimétrie, les niveaux déterminés sont des niveaux géodésiques. Les coordonnées des principaux points relevés sont indiquées sur le tableau 2.2, et sur le dessin de localisation inséré à la fin du rapport.

2.1.4 Travaux de laboratoire

En laboratoire, trois (3) analyses granulométriques et six (6) déterminations du pourcentage de particules fines (diamètre inférieur à 80 µm) ont été réalisées sur des échantillons représentatifs de résidus miniers et de sol naturel récupérés dans les forages exécutés. Quelques déterminations de la teneur en eau naturelle ont également été effectuées sur des échantillons de matériaux meubles provenant du forage F-2, à la réception des échantillons au laboratoire. Les résultats des

TABLEAU 2.2: CENTRE DE RECHERCHES MINÉRALES
EXPÉRIMENTATION DE L'INONDATION DU PARC A RÉSIDUS
SOLBEC-CUPRA (PHASE III)
COORDONNÉES DES PRINCIPAUX POINTS RELEVÉS

IDENTIFICATION DU POINT	COORDONNÉES ARBITRAIRES		NIVEAU GÉODÉSIQUE
	NORD (m)	EST (m)	(m)
Station N° 11 (médaillon)	8 711,108	1 579,588	327,689
Station N° 161 (boulon sur déversoir)	8 925,497	825,331	326,577
LS-1, PM 000,00	8 488,274	1 490,049	328,522
LS-1, PM 434,25 N	9 049,164	1 199,316	325,735
LS-1, PM 509,41 S	8 197,780	1 597,155	331,479
LS-2, PM 279,30 O	8 391,526	1 228,044	327,580
LS-2, PM 227,95 E	8 567,119	1 703,930	328,252
LS-3, PM 408,15 O	8 673,673	947,626	326,584
LS-3, PM 181,67 E	8 974,560	1 454,926	326,342
F-1, Terrain existant	8 492,097	1 430,233	328,376
F-1, Dessus tube protecteur			329,006
F-2, Terrain existant	8 754,584	1 139,616	326,731
F-2, Dessus tube protecteur			327,275
F-3(F-4), Terrain existant	8 797,834	1 454,573	327,052
F-3(F-4), Dessus tube protecteur			327,637
Bassin 89-1, Centre	8 751,816	1 602,000	327,361
Bassin 89-2, Centre	8 751,384	1 598,640	327,439
Bassin 89-3, Centre	8 754,551	1 599,673	327,039
Bassin 90			
- Coin N.-E., intérieur	8 744,881	1 634,383	326,798
- Coin S.-E., intérieur	8 742,681	1 635,714	326,771
- Coin S.-O., intérieur	8 741,563	1 633,319	326,794
- Coin N.-O., intérieur	8 743,770	1 632,071	326,764
Bassin 91, Centre	8 763,227	1 646,636	327,417
P-4, Terrain existant	8 756,147	1 603,952	327,450
P-4, Dessus tube			328,411
P-5, Terrain existant	8 762,126	1 624,677	327,450
P-5, Dessus tube			327,532
P-6, Terrain existant	8 759,075	1 614,167	327,497
P-6, Dessus tube			327,767

analyses granulométriques sont présentés à l'appendice 2 du présent rapport. Les résultats des déterminations du pourcentage de particules fines et des déterminations de la teneur en eau naturelle sont indiqués sur les rapports de forage de l'appendice 1.

2.2 Nature et propriétés du terrain

La description détaillée des couches de terrain rencontrées à l'endroit des forages exécutés sur le site du parc à résidus Solbec-Cupra est indiquée sur les rapports de forage contenus à l'appendice 1.

2.2.1 Résidus miniers

Une couche de résidus miniers a été rencontrée à l'endroit des forages F-1 à F-3 exécutés, jusqu'à une profondeur comprise entre 4,80 et 6,25 m sous la surface du terrain existant. Dans la partie oxydée de surface telle qu'observée à l'endroit des forages F-1 et F-3 sur une épaisseur de l'ordre de 600 mm, les résidus sont de teinte brun jaunâtre et ont la granulométrie d'un sable et silt à un silt sableux. Sous la mince couche oxydée, ou localement directement à partir de la surface du terrain tel à l'endroit du forage F-2, les résidus sont gris à gris noirâtre, et semblent correspondre d'un point de vue granulométrique généralement à un silt avec des traces de sable. Les déterminations du pourcentage de particules fines effectuées sur deux échantillons provenant de la couche superficielle oxydée à l'endroit des forages F-1 et F-3 ont indiqué des pourcentages de 44 et 73% respectivement. Les déterminations effectuées sur trois échantillons de résidus gris à gris noirâtre provenant des forages F-2 et F-3 entre les profondeurs de 3,05 et 6,10 m, ont indiqué des pourcentages de particules fines se situant entre 92 et 96%.

Les indices de pénétration standard mesurés dans la couche de résidus miniers varient entre 1 et 7, et suggèrent un état de compacité très lâche à lâche des matériaux.

Huit (8) essais de perméabilité en bout de tubage ont été effectués dans les résidus miniers, à l'endroit des forages F-1 à F-3. Les valeurs de conductivité hydraulique déterminées varient entre $3,40 \times 10^{-4}$ et $2,10 \times 10^{-5}$ cm/s.

Les profils sismiques LS-1 à LS-3 couvrant l'ensemble du parc associent à la couche de résidus miniers une vitesse sismique de 450 à 900 m/s, et une épaisseur maximale de l'ordre de 8 à 9 mètres.

2.2.2 Tourbe

Une couche de tourbe fibreuse brun noirâtre a été identifiée dans les forages F-1 à F-3 exécutés sous les résidus miniers, aux profondeurs respectives de 6,17, 4,80 et 6,25 m sous la surface du terrain existant. Cette couche de tourbe a été rencontrée jusqu'aux profondeurs de 7,75, 5,64 et 8,00 m, soit sur des épaisseurs de 1,58, 0,84 et 1,75 m respectivement.

Des indices de pénétration standard compris entre 7 et 10 ont été obtenus conjointement avec le prélèvement d'échantillons à l'aide du carottier fendu dans la couche de tourbe. Ces valeurs témoignent vraisemblablement d'une compression relativement importante de la tourbe sous le poids des résidus, et de la présence de racines.

Des essais de perméabilité en bout de tubage ont été effectués dans la couche de tourbe à l'endroit de chacun des forages F-1, F-2 et F-3. La conductivité hydraulique de la tourbe indiquée par ces essais varie entre $2,80 \times 10^{-4}$ et $6,5 \times 10^{-5}$ cm/s.

Les levés géophysiques n'ont pas permis de caractériser la couche de tourbe en terme de vitesse sismique et d'épaisseur, compte tenu principalement de l'épaisseur relativement faible de la couche.

2.2.3 Matériaux silto-argileux

Directement sous la couche de tourbe, une mince couche de matériaux silto-argileux a été identifiée à l'endroit des forages F-2 et F-3. Ces matériaux constitués de silt gris avec un peu d'argile ou argileux contenant des traces ou un peu de sable, ont été rencontrés jusqu'aux profondeurs de l'ordre de 6,50 et 9,00 m à l'endroit des forages F-2 et F-3 respectivement, soit sur des épaisseurs d'environ 0,86 et 1,00 m. Une détermination du pourcentage de particules fines réalisée sur un échantillon de ces matériaux provenant du forage F-2 a indiqué un pourcentage de particules fines de 80%.

Les levés géophysiques comme dans le cas de la couche de tourbe n'ont pas permis de caractériser la mince couche de matériaux silto-argileux en terme de vitesse sismique et d'épaisseur.

2.2.4 Matériaux silteux et silto-sableux

Directement sous la couche de tourbe à l'endroit du forage F-1, et sous la couche de matériaux silto-argileux à l'endroit des forages F-2 et F-3, les dépôts meubles existants sont constitués de matériaux silteux et silto-sableux, et représentent la couche probable de till. Ces matériaux ont été rencontrés à l'endroit des forages F-1, F-2 et F-3 jusqu'au socle rocheux, soit jusqu'aux profondeurs respectives de 20,16, 9,86 et 13,21 m sous la surface du terrain existant, et varient en composition d'un silt avec des traces ou un peu de sable, à un silt et sable, à un sable silteux, associés à des proportions variables de

gravier. Les trois (3) analyses granulométriques effectuées en laboratoire sur des échantillons représentatifs de ces matériaux ont indiqué des pourcentages de gravier compris entre 10 et 22%, des pourcentages de sable variant entre 30 et 40% et des pourcentages de particules fines compris entre 46 et 50%.

Les indices de pénétration standard obtenus dans ces matériaux varient entre 5 et 37. Ces valeurs de façon conventionnelle sont associées à un état de compacité lâche à dense des matériaux, mais peuvent refléter également la grande variation observée de la granulométrie du matériau. Il est à noter que quelques refus à la pénétration de l'échantillonneur standard ont été obtenus dans les matériaux silto-sableux à l'endroit du forage F-2. Ces refus peuvent être associés à un état de compacité dense à très dense du matériau et/ou à la présence de gravier, cailloux ou blocs.

Un essai de perméabilité en bout de tubage a été réalisé dans les matériaux silteux et sablo-silteux dans chacun des forages F-1, F-2 et F-3 exécutés. Les trois essais exécutés ont indiqué des valeurs de conductivité hydraulique se situant entre $7,4 \times 10^{-5}$ et $1,9 \times 10^{-5}$ cm/s.

Les levés sismiques LS-1, LS-2 et LS-3 ont déterminé un seul marqueur pour l'ensemble des matériaux meubles présents sous les résidus miniers. Ce marqueur est défini par des vitesses sismiques comprises entre 1 600 et 1 900 m/s, et par des épaisseurs maximales de l'ordre de 10 à 15 m dans la partie nord du parc à résidus, et de l'ordre de 20 à 25 m dans la partie sud du parc. Il peut être assumé que ce marqueur sismique correspond principalement aux matériaux silteux et silto-sableux.

2.2.5 Socle rocheux

Le roc a été atteint dans les forages F-1 à F-4 sous les matériaux silteux et silto-sableux aux profondeurs respectives de 20,17, 9,86, 13,21 et 12,19 m sous la surface du terrain existant, soit à des niveaux géodésiques correspondants 308,21, 316,87, 313,84 et 314,86 m. Le roc a été échantillonné à l'endroit des forages F-1 à F-3 sur une longueur variant entre 5,08 et 5,99 m, et est de type schiste à séricite et/ou chlorite. Le roc récupéré affiche une schistosité bien développée à un angle variant entre 10 et 30° par rapport à l'axe de la carotte, et est généralement sain à peu altéré, sauf à l'endroit du forage F-3 où le roc observé est très altéré et localement fortement oxydé.

Les profils sismiques établis à partir des levés LS-1, LS-2 et LS-3 montrent une grande variation du toit du socle rocheux, et indiquent des vitesses sismiques généralement comprises entre 3 500 et 5 700 m/s indicatrices d'un roc de qualité moyenne à bonne. Quelques sections des profils sismiques obtenus indiquent pour le roc des vitesses faibles, se situant entre 2 300 et 3 500 m/s, caractéristiques d'un roc de mauvaise qualité, sois très altéré, très fissuré ou cisaillé. Ces zones de faible vitesse sont généralement associées à des dépressions du socle rocheux, et semblent déterminer une linéation régionale d'orientation approximative N.E.-S.O. correspondant possiblement à un contact lithologique et/ou à un plan majeur de cisaillement (faille). Il est à noter que l'épaisseur maximale de matériaux meubles (résidus miniers et sol naturel) observée sur les profils sismiques est de l'ordre de 31 à 32 mètres.

2.3 Bilan hydrologique

Un bilan hydrologique a été dressé pour vérifier la faisabilité de l'inondation du parc à résidus d'un point de vue hydrogéologique. Les principaux éléments et résultats de ce bilan se présentent comme suit:

1) Superficie du bassin versant évaluée à 5,0 km^2.

2) Précipitations moyennes annuelles selon la station météo de Lingwick (25 km au sud du site) calculées sur 34 ans de relevés: 1 115,7 mm par année.

3) Volume d'eau annuel reçu en précipitations sur le bassin versant: 5 578 500 m^3.

4) Le MENVIQ évalue à 45% des précipitations totales la quantité d'eau qui s'évapore annuellement dans cette région (MENVIQ, 1985; Direction de la météorologie).

5) Le parc à résidus est situé dans une cuvette délimitée par deux crêtes rocheuses. Les résidus ont été déposés sur un terrain marécageux sus-jacent à un till de fond.

6) La conductivité hydraulique estimée des matériaux en présence est de l'ordre de:

- Résidus miniers: $3,40 \times 10^{-4}$ à $2,10 \times 10^{-5}$ cm/sec.
- Tourbe : $2,80 \times 10^{-4}$ à $6,5 \times 10^{-5}$ cm/sec.
- Till : $7,4 \times 10^{-5}$ à $1,9 \times 10^{-5}$ cm/sec.
- Roc : non déterminé.

7) Compte tenu de la topographie et de la nature des terrains en présence, nous estimons à un maximum de 10% des précipitations l'eau qui s'infiltre annuellement dans le sous-sol, soit 557 850 m^3.

8) Le ruissellement s'accapare donc 45% des précipitations totales annuelles, soit 2 510 325 m^3.

9) La surface du parc à résidus se chiffre à 66 hectares dont 20 sont submergés par un étang partiellement marécageux et un bassin de sédimentation (C.R.M., Avril 1991).

10) Le point le plus élevé du parc à résidus se trouve à sa pointe sud et atteint 331,48 mètres. Le niveau de l'étang au nord est à 325,73 mètres. La pente est donc négative du sud vers le nord à 0,62% ou 5,75 mètres sur 925 mètres.

11) Pour recouvrir tout le parc d'au moins 1,0 mètre d'eau, il faudrait donc élever le niveau d'eau de l'étang à la cote 332,5 mètres, c'est-à-dire de près de sept (7) mètres.

12) Après les travaux de digues réalisés, le plan d'eau atteindrait une surface d'environ 1,5 km^2 pour un volume d'eau d'environ 3,4 millions de mètres cubes.

13) Pendant la période de l'année où l'évapotranspiration se fait de façon sensible, c'est-à-dire de mai à octobre, l'apport d'eau de ruissellement dans le bassin est évalué à environ 1 400 000 mètres cubes, ce qui correspond à une hausse du niveau d'eau possible d'environ 93 cm. Ce chiffre tient compte naturellement de l'évapotranspiration et de l'infiltration qui retiennent respectivement 45 et 10% des précipitations totales.

14) À priori, les travaux d'endiguement nécessaires à la construction du bassin ne devraient pas influencer de façon significative l'accumulation des eaux de ruissellement. Un facteur de sécurité de 10% peut cependant s'appliquer.

15) En conclusion, il serait donc impossible de recouvrir d'eau tous les résidus dès la première année puisqu'il manquerait environ 1 100 000 mètres cubes d'eau, quantité qu'il sera possible d'obtenir la deuxième année. De plus, considérant que les pertes d'eau dans le bassin seront majoritairement attribuables à l'évapotranspiration, il apparait en vertu des apports d'eau anticipés pour la période de mai à octobre (voir point #13) que l'inondation devrait être maintenue à tout moment dans l'enceinte du parc.

3.0 EXPÉRIMENTATION DE L'INONDATION

3.1 Généralités

Le drainage minier acide (DMA) qui résulte de l'oxydation des rejets miniers sulfureux a été décrit comme étant le plus important problème environnemental auquel l'industrie minière est aujourd'hui confrontée. Les principaux éléments responsables de la production de DMA sont les minéraux sulfurés réactifs, l'oxygène et l'eau. De plus, les réactions chimiques d'oxydation des minéraux sulfurés réactifs sont souvent accélérées par une activité biologique. Ces phénomènes génèrent des eaux de drainage caractérisées par un pH faible et des concentrations en métaux lourds et en sulfates élevées. Ces eaux de drainage migrent généralement à l'extérieur des zones d'exploitation minières par le biais des écoulements d'eau de surface et d'eau souterraine. L'impact environnemental de ces rejets acides est fonction du pouvoir de neutralisation et de dilution naturel du milieu récepteur. Un résumé

des principaux phénomènes associés à la génération de DMA est présenté dans Steffen, Robertson and Kirsten (B.C.) Inc., 1989 (voir référence No 10 de l'appendice 7).

Le parc à résidus miniers Solbec-Cupra situé dans les Cantons de l'Est, dans la municipalité de Stratford-Centre, a fait l'objet d'une recherche exhaustive sur les options d'assainissement des eaux et de revitalisation (Roche, 1987, référence No 8 de l'appendice 7). Parmi les solutions envisagées, l'inondation du parc à résidus est apparue la solution la plus prometteuse du point de vue économique et environnemental. Le principe de l'inondation consiste a couper l'alimentation en oxygène par la création d'une barrière humide. La solubilité de l'oxygène ainsi que son taux de diffusion étant tous deux très faibles, il est permis de penser que la couverture aquatique pourra constituer un des meilleurs inhibiteurs des réactions d'oxydation des minéraux sulfurés réactifs.

Un programme de recherche a été mis sur pied par le Centre de recherches minérales (CRM) afin de mieux évaluer l'impact potentiel de l'inondation du parc à résidus Solbec-Cupra. Ce programme de recherche s'inscrit dans le cadre du programme de Neutralisation des Eaux de Drainage dans l'Environnement Minier (NEDEM) créé en 1989 afin de trouver des solutions rentables, efficaces et acceptables au problème du DMA. Les deux premières phases de ce projet de recherche ont été menées par le CRM au cours des années 1989 et 1990, et ont fait l'objet chacune d'un rapport technique (Grenier et al., 1990 et 1991, références Nos 5 et 6 de l'appendice 7). Le présent rapport concerne la phase III du projet.

3.2 Revue de la documentation

Une revue complète de la littérature traitant du contrôle de la production de DMA par l'utilisation de tourbières a été réalisée par le

Centre Canadien de la Technologie des Minéraux et de l'Énergie (Dave et al, 1989, référence No 1, appendice 7). De façon plus générale, Steffen, Robertson & Kirsten (B.C.) Inc., 1988 (référence No 9, appendice 7) ont revu la littérature traitant des différents types de recouvrement des résidus miniers comme moyens de contrôler le DMA.

Il est connu que la disposition des résidus miniers sulfureux potentiellement réactifs en milieu subaquatique ramène la production d'acide à des niveaux négligeables (Steffen, 1989; Rescan, 1989, références Nos 10 et 7, appendice 7). Cependant, bien que souvent proposée, l'inondation d'un parc à résidus minier existant où les phénomènes d'oxydation des sulfures ont déjà été amorcés n'a jamais été expérimentée au Canada. Tout au plus, deux autres sites miniers similaires (Fault Lake Tailing Site, Falconbridge, Ontario et Elliot Lake, Ontario) font l'objet de recherches en vue de l'utilisation de barrières humides afin de contrôler la production de DMA.

Les résultats expérimentaux obtenus au site de Fault Lake à l'aide d'essais en colonnes sur le terrain et avec des résidus partiellement oxydés montreraient une détérioration de la qualité de l'eau, soit une augmentation des concentrations en métaux lourds et en sulfates, et une diminution du pH avec le temps (Dave et al., 1991, référence No 3, appendice 7). Les auteurs du rapport d'étude avancent la possibilité de l'oxydation des minéraux sulfurés réactifs situés directement sous la croûte de résidus oxydés par des produits d'oxydation solubles entraînés par lessivage.

Les résultats obtenus dans le cadre des travaux effectués au site de Elliot Lake montreraient que l'inondation de résidus frais a permis d'éviter l'oxydation des résidus et la production de DMA (Dave et al., 1990, référence No 2, appendice 7). Cependant, aucun de ces essais n'a été réalisé avec des résidus préalablement oxydés.

De plus, des essais en colonnes (lysimètres sans percolation) effectués en laboratoire aux États-Unis sur des résidus sulfureux oxydés auraient montré une augmentation des concentrations en métaux lourds et en sulfates dans l'eau au-dessus des résidus ainsi qu'un pH relativement constant et près de 3,2 (Doepker et al., 1991, référence No 4, appendice 7). Ces résultats suggèrent que la déposition en milieu subaquatique de résidus déjà oxydés pourrait ne pas freiner la production de DMA.

3.3 Synthèse des phases I et II

3.3.1 Phase I

En 1989, trois bassins expérimentaux désignés B89-1, B89-2 et B89-3 ont été aménagés sur le site du parc à résidus Solbec-Cupra. Deux piézomètres échantillonnables ont été installés dans chacun de ces bassins. A l'endroit des bassins B89-1 et B89-2, un piézomètre a été placé dans la couche superficielle de résidus d'une épaisseur de l'ordre de 300 mm représentant la couche oxydée, et un piézomètre a été installé immédiatement sous la couche présumée oxydée, à la profondeur approximative de 500 mm. Dans le bassin B89-3, les deux piézomètres ont été installés aux profondeurs de 250 et 450 mm respectivement après toutefois que la couche superficielle oxydée de résidus ait été excavée. Un piézomètre désigné P-4 a également été installé à l'extérieur des bassins, dans la couche de résidus non oxydés, à la profondeur approximative de 600 mm. Les figures 3.1 et 3.2, toutes deux tirées du rapport de Grenier et al., 1990 (voir référence No 5, appendice 7), indiquent la localisation et la disposition des bassins et des piézomètres. Il est à noter que la phase I de l'expérimentation a également comporté des travaux en laboratoire avec des échantillons intacts de résidus oxydés et non oxydés montés dans des colonnes d'expérimentation (lysimètres).

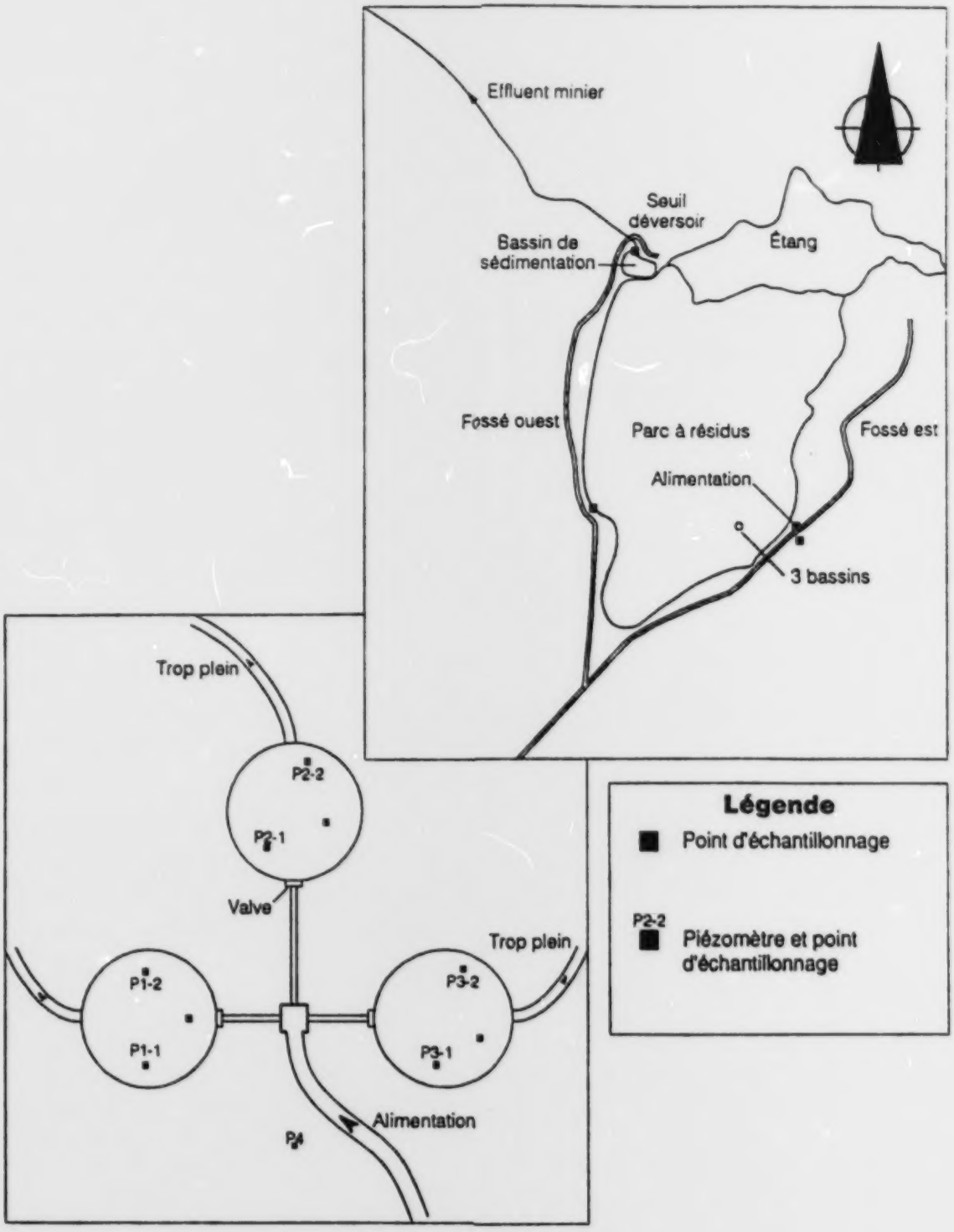


FIGURE 3.1: Parc à résidus Solbec–Cupra
Localisation des bassins et des piézomètres
(Réf.: Grenier et al, 1990)

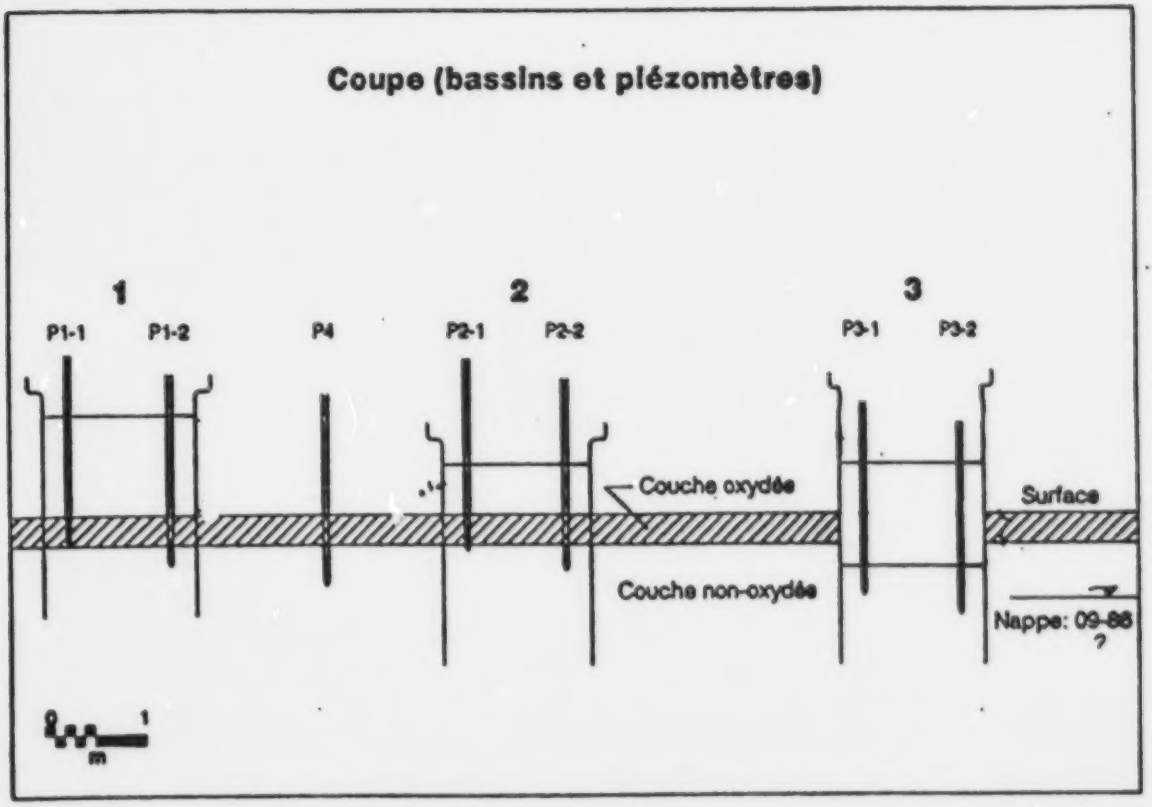


FIGURE 3.2: Parc à résidus Solbec–Cupra
Coupe montrant la disposition des bassins et des piézomètres
(Réf.: Grenier et al, 1990)

Le programme expérimental a consisté à simuler l'inondation du parc à résidus en recouvrant les résidus dans les bassins (chantier) et dans les colonnes (laboratoire) avec une couche d'eau d'épaisseur variable (0,1 à 1,0 m), et en réalisant un suivi notamment du pH et du potentiel d'oxydoréduction de l'eau à chacun des points échantillonnables. Le suivi a été réalisé en chantier entre le 26 juillet et le 15 novembre 1989 (11 semaines), et en laboratoire entre le 13 octobre et le 8 décembre (8 semaines). Le programme a été complété par des analyses chimiques et minéralogiques sur des échantillons d'eau et de résidus.

Au terme de la phase I, les auteurs du rapport d'étude concluent sur la base des résultats expérimentaux qu'un "recouvrement d'eau maintenu constant à 0,5 mètre n'a pas empêché la réaction d'acidification de l'eau interstitielle dans la couche oxydée". Il est toutefois recommandé de poursuivre les travaux d'expérimentation en chantier, "en tentant de reproduire le plus fidèlement possible les conditions d'écoulement qui prévaudront lors de l'inondation complète du parc".

3.3.2 Phase II

En 1990, les travaux de la phase II ont comporté la construction d'un bassin supplémentaire (B90) et l'installation de six piézomètres à l'intérieur du bassin à différents niveaux dans des couches de résidus oxydés et non oxydés, et dans le till sous-jacent. Il est à noter que le bassin B90 diffère fondamentalement des bassins installés en 1989, du fait que le bassin prévu jusqu'au niveau du till a nécessité l'excavation complète des résidus, et la reconstitution après coup de couches de résidus non oxydés et oxydés de faible épaisseur au-dessus du till. Deux piézomètres additionnels nommés P-6 et P-5 ont également été installés à l'extérieur des bassins expérimentaux aux profondeurs de 1,20 et 2,40 m, vraisemblablement dans la couche de résidus non oxydés et au contact tourbe/till respectivement. Les figures 3.3, 3.4 et 3.5

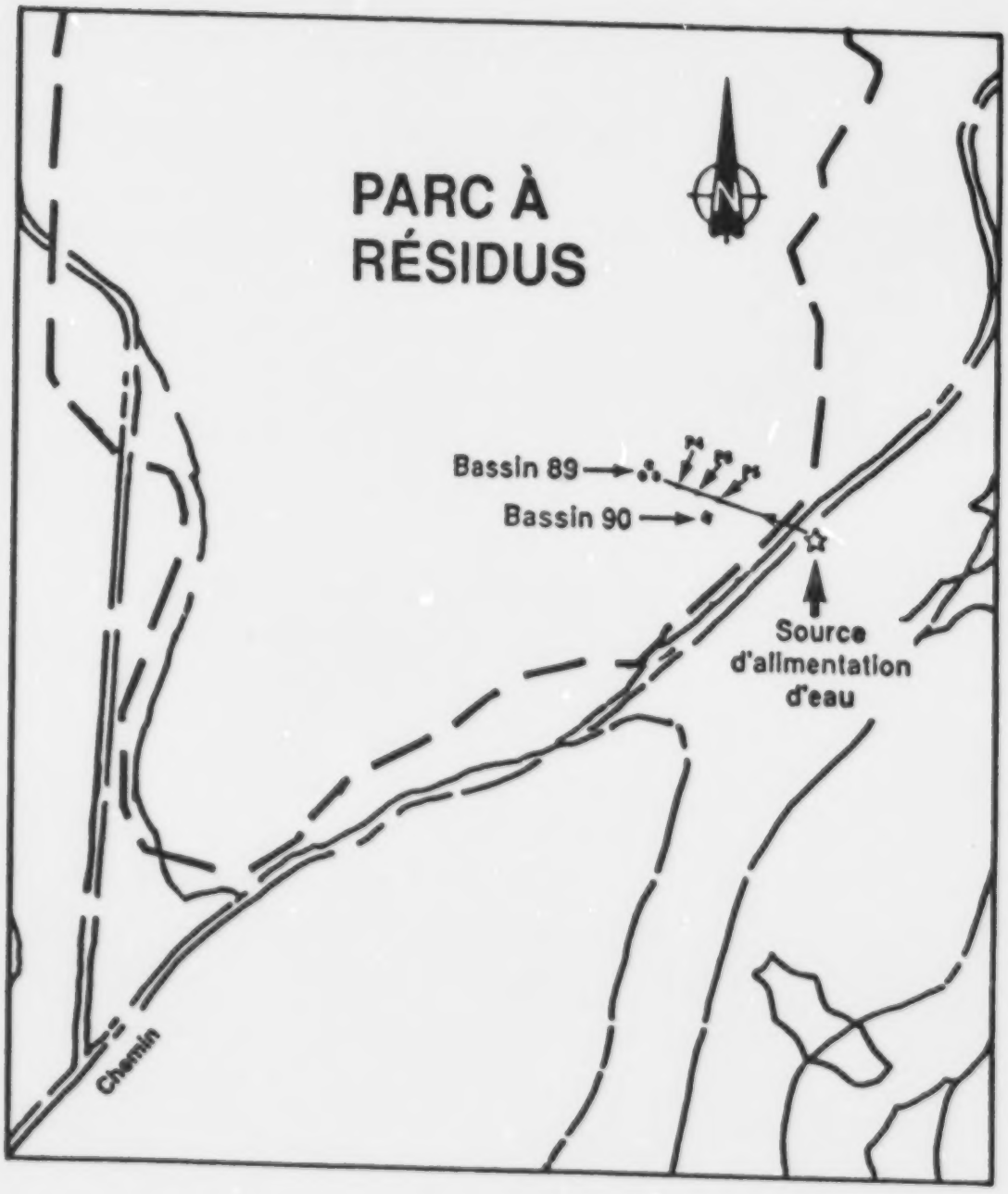


FIGURE 3.3: Parc à résidus Solbec-Cupra
Plan du site expérimental montrant la position relative des bassins, des piézomètres témoins et de la source d'alimentation en eau (échelle 1:5 000)
(Réf.: Grenier et al., 1991).

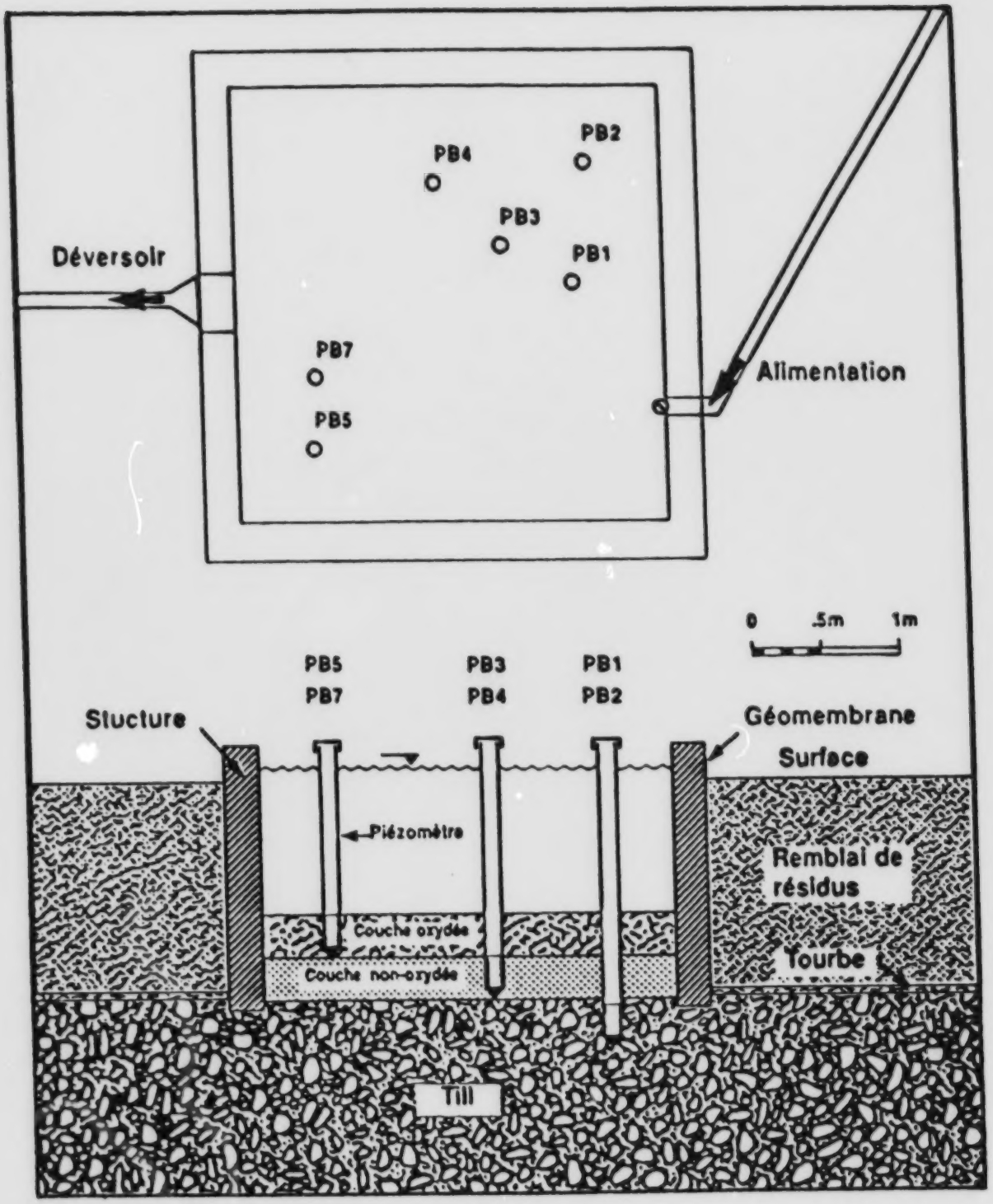


FIGURE 3.4: Parc à résidus Solbec–Cupra
Vue en plan et en coupe du concept retenu pour le bassin expérimental 1990
(les deux couches mises en place au fond du bassin sont remaniées)
(Réf.: Grenier et al., 1991).

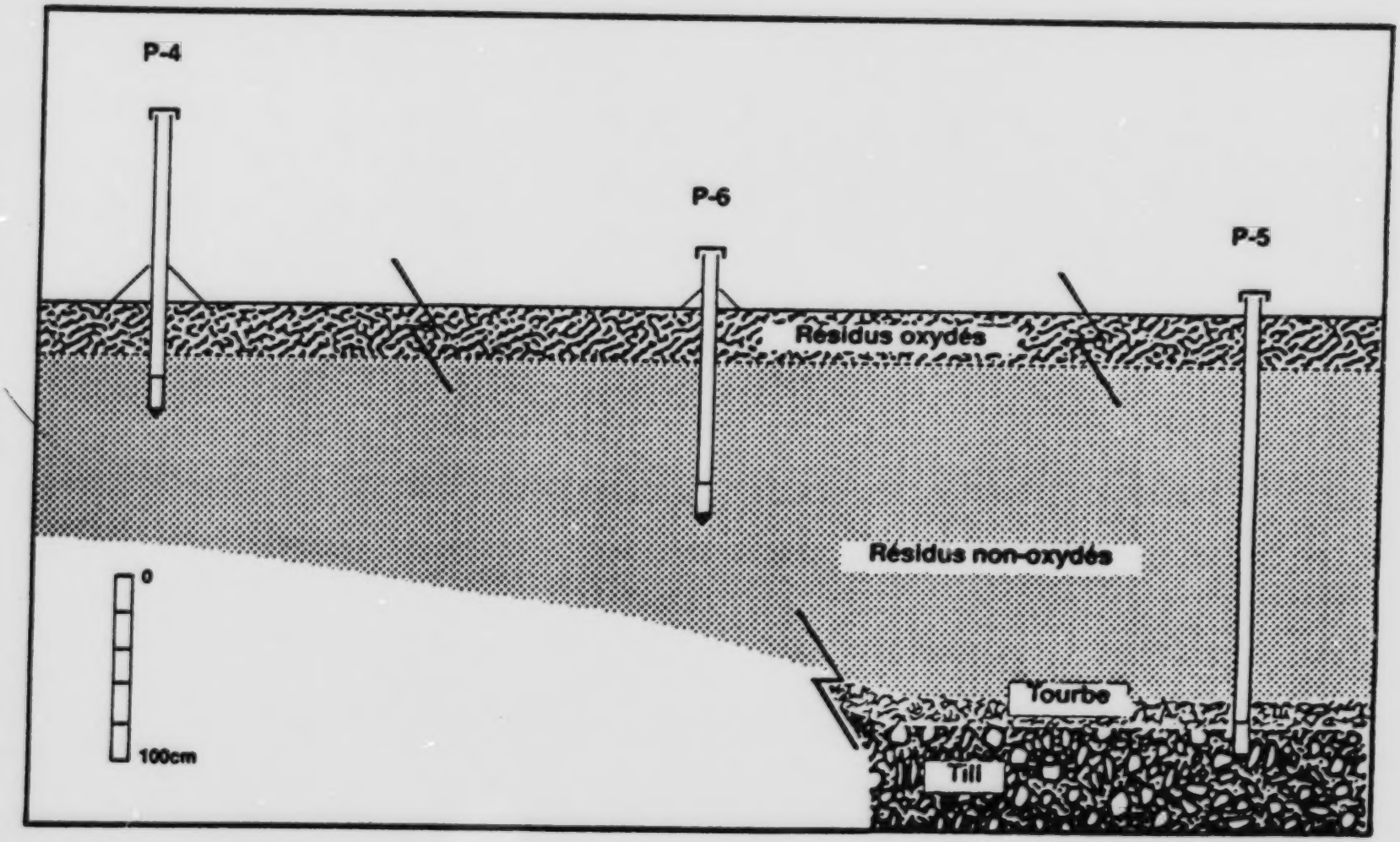


FIGURE 3.5: Parc à résidus Solbec–Cupra
Vue en coupe des piézomètres témoins hors–bassin et leur position dans les couches traversées
(Réf.: Grenier et al., 1991).

tirées du rapport de Grenier et al., 1991 (voir référence No 6, appendice 7), montrent la localisation et la disposition des bassins et des piézomètres installés en phase II.

Le programme expérimental de la phase II a consisté essentiellement à inonder comme en phase I les bassins existants et à effectuer des mesures du pH et du potentiel d'oxydoréduction de l'eau provenant des différents points échantillonnables. Le suivi en 1990 s'est échelonné entre le 27 juin et le 10 octobre soit sur une période de quinze semaines. Des analyses chimiques ont également été réalisées en laboratoire sur des échantillons d'eau prélevés sur le terrain à deux reprises avant la fin du programme de mesures.

Le rapport de synthèse préparé par le CRM à l'issue de la phase II d'expérimentation conclut comme suit:

> "Les observations semblent indiquer que l'inondation stoppe le processus d'oxydation des résidus frais (bassin #3) mais que l'eau interstitielle dans les résidus oxydés conserve un pH acide malgré un recouvrement de 0.5 et 1 mètre (bassins #1 et #2). Deux hypothèses peuvent expliquer ce phénomène: premièrement l'eau contenue dans les résidus oxydés subit un lavage lent causé par la circulation de l'eau à travers ceux-ci. C'est le cas observé avec les installations de 89, deuxièmement le pouvoir acidifiant des résidus oxydés demeure élevé pour une période encore indéterminée, malgré le ou les différents niveaux de recouvrement. L'interprétation des résultats nous indique que sous un recouvrement d'un mètre d'eau dans le bassin 90, le pH des eaux interstitielles dans les couches remaniées a remonté près de la neutralité (pH 6.5)".

Le rapport conclut également à la nécessité d'une phase III au programme expérimental.

3.4 Installation du bassin expérimental de la phase III

En 1991, un bassin expérimental du type de ceux installés en 1989 a été installé entre le 9 et le 11 juillet 1991, sur le site du parc à résidus, dans le secteur des bassins 89 et 90 existants. L'emplacement relatif du bassin est montré sur le dessin de localisation présenté à la fin de ce rapport.

Le bassin 91 constitué d'un cylindre de plastique inerte de 1,22 m de diamètre a été enfoncé dans le sol à l'aide d'une pelle rétrocaveuse jusqu'à la profondeur d'environ 1,60 m, profondeur à laquelle un refus pratique à l'enfoncement du cylindre a été obtenu. La stratigraphie supposée du terrain à l'endroit du bassin, établie sur la base des résultats d'un puits d'exploration exécuté à environ 3 mètres du bassin, se présente comme suit:

- Une couche superficielle de résidus miniers oxydés, brun jaunâtre, d'une épaisseur de l'ordre de 200 à 300 mm;

- Une couche sous-jacente de résidus miniers non oxydés, gris à gris noirâtre, jusqu'à une profondeur de l'ordre de 1,40 m;

- Sous les résidus, une couche de tourbe brun foncé renfermant des racines et des morceaux de bois, jusqu'à une profondeur de l'ordre de 1,60 m;

- Enfin, à la profondeur de 1,60 m ±, une couche de matériaux silteux, gris, plus compacts, constituant une couche supposée de till.

Une série de dix (10) piézomètres hydrauliques d'un diamètre de 25,4 mm, numérotés P91-1 à P91-10, a été foncée à différentes profondeurs à l'intérieur du bassin installé. Deux piézomètres ont été tentativement

installés dans chacune des couches de terrain identifiées soit les résidus miniers oxydés, les résidus miniers non-oxydés, la tourbe et le till supposé. Deux piézomètres additionnels ont été placés en profondeur, vraisemblablement au niveau du till supposé ou de son contact avec la couche de tourbe sus-jacente. Les données d'installation des piézomètres sont indiquées au tableau 3.1. La figure 3.6 montre un schéma de l'emplacement relatif des piézomètres en plan à l'intérieur du bassin, et une vue en coupe de la disposition de ces piézomètres.

Une section cylindrique additionnelle a été fixée au-dessus de la section de 2,15 m enfoncée dans le sol de façon à permettre le remplissage du bassin avec de l'eau jusqu'à un minimum de 1,0 m au-dessus de la surface des résidus miniers. Le bassin a été raccordé à la tuyauterie du système d'alimentation existant (alimentation des bassins 89 et 90). Toutefois, la source d'alimentation artésienne utilisée en 89 et 90 pour l'alimentation en eau des bassins étant déficiente en 90, le Centre de recherches minérales (CRM) a fait procéder à l'installation et au raccordement d'un réservoir auxiliaire dont le remplissage est effectué périodiquement par le personnel du service des incendies de la municipalité de Stratford.

3.5 Suivi environnemental

3.5.1 Échantillonnage et analyse des résidus miniers

Des échantillons de résidus miniers ont été prélevés au fond des bassins expérimentaux B89-1, B89-2, B89-3, B90 et B91, dans la couche superficielle de résidus. Ces échantillons ont été prélevés au début de la période du suivi, et préalablement à l'inondation dans le cas du bassin B91. Ces échantillons ont été soumis en laboratoire à des analyse bactériologiques.

La conservation et l'analyse des échantillons ont été effectuées selon des méthodes standard.

TABLEAU 3.1: CENTRE DE RECHERCHES MINÉRALES
EXPÉRIMENTATION DE L'INONDATION DU PARC A RÉSIDUS
SOLBEC-CUPRA (PHASE III)
DONNÉES D'INSTALLATION DES PIÉZOMETRES - BASSIN 91

PIÉOMETRE N°	CELLULE POREUSE			TUBE PIÉZOMÉTRIQUE Niveau géodésique Dessus du tube (m)
	Profondeur de la pointe par rapport au sol (m)	Niveau géodésique de la pointe (m)	Unité stratigraphique probable	
P91-1	1,87	325,57	Till supposé	328,594
P91-2	1,64	325,79	Contact tourbe/till supposé	328,605
P91-3	1,60	325,85	Tourbe	328,638
P91-4	1,50	325,94	Contact résidus miniers/ tourbe	328,649
P91-5	1,83	325,61	Till supposé	328,673
P91-6	1,05	326,36	Résidus miniers non-oxydés	328,658
P91-7	1,05	326,37	Résidus miniers non-oxydés	328,688
P91-8	0,27	327,15	Résidus miniers oxydés	328,712
P91-9	0,27	327,15	Résidus miniers oxydés	328,734
P91-10	1,50	325,94	Contact résidus miniers/ tourbe	328,769

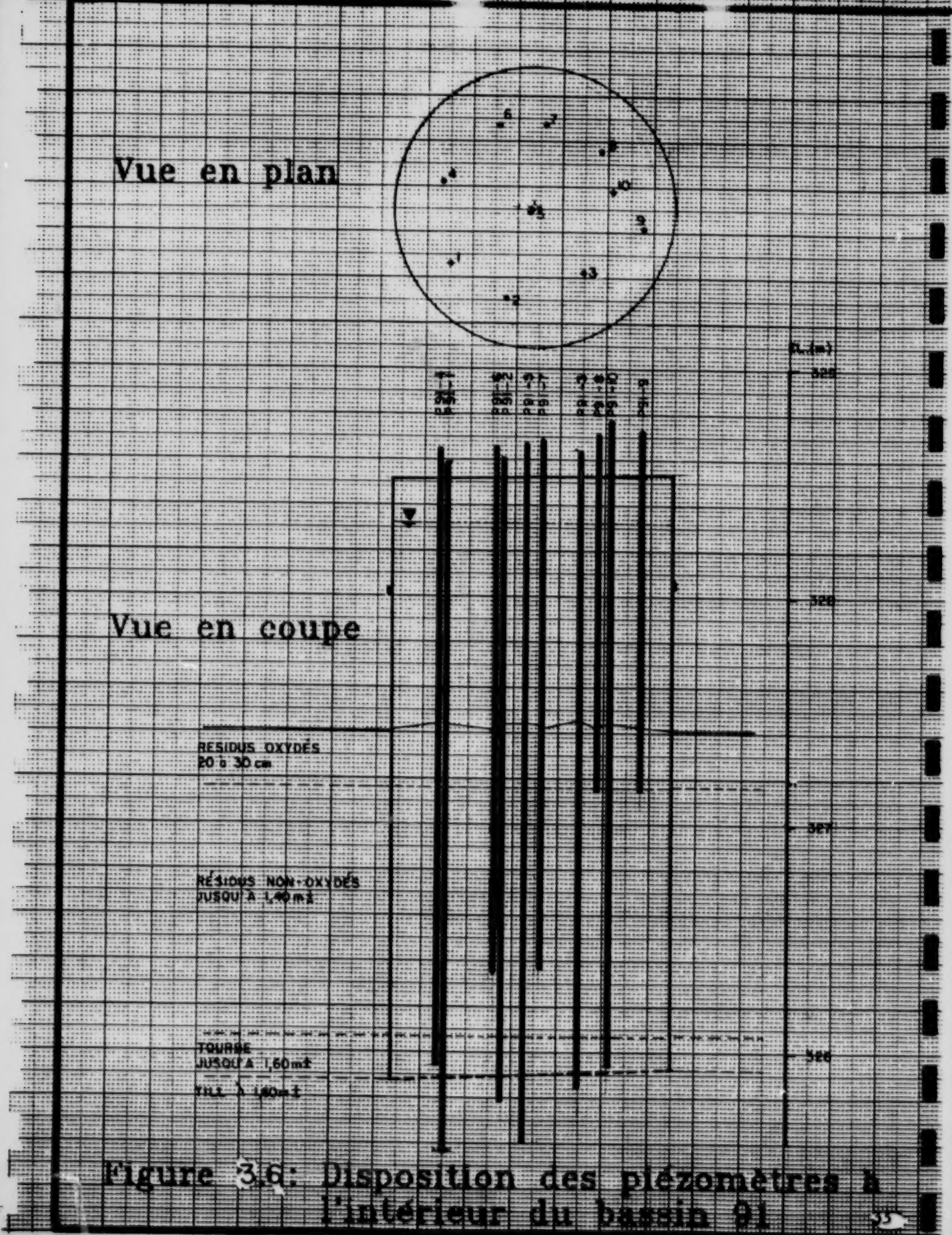


Figure 3.6: Disposition des piézomètres à l'intérieur du bassin 91

3.5.2 Échantillonnage et analyse de l'eau

Le suivi environnemental de la qualité de l'eau de recouvrement et de l'eau interstitielle a été effectué sur des échantillons d'eau prélevés directement dans les bassins et dans les piézomètres installés. Le tableau 3.2 énumère les points de prélèvement, présente une brève description du milieu échantillonné, la fréquence des prélèvements ainsi que le programme d'analyse réalisé. Le suivi a été effectué entre le 15 août et le 10 novembre 1991, soit sur une période d'environ douze (12) semaines. Notons que le piézomètre P89-1-2 a fait l'objet de vandalisme au cours de la période d'échantillonnage ce qui explique l'absence de certaines données.

Le prélèvement des échantillons d'eau dans les piézomètres et les mesures de terrain ont été menés de la façon suivante:

1) Mesure du niveau de l'eau;

2) Prélèvement d'environ 50 ml d'échantillon d'eau à l'aide d'une pompe à inertie dédiée de type WaTerra afin de mesurer les paramètres de terrain soit le pH, la conductivité électrique (Ks), le potentiel d'oxydoréduction (Eh), la concentration en oxygène dissous (O_2), et pour permettre une description visuelle des échantillons;

3) Prélèvement, lorsque requis, des échantillons d'eau en prévision des analyses chimiques en laboratoire à l'aide de la même pompe. Dans la majorité des cas, les piézomètres ont été asséchés avant d'avoir pu récupérer le volume minimum d'eau nécessaire à la réalisation des analyses. À ce moment les bouteilles fournies par le laboratoire, dépourvues de préservatifs et suffisamment remplies, ont été portées au laboratoire d'analyse dans les plus

TABLEAU 3.2: CENTRE DE RECHERCHES MINÉRALES
EXPÉRIMENTATION DE L'INONDATION DU PARC A RÉSIDUS SOLBEC-CUPRA (PHASE III)
DESCRIPTION DES POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE DE L'EAU ET DES PROGRAMMES D'ANALYSE

Point de prélèvement	Description	Fréquence des prélèvements	Programme d'analyse réalisé
B89-1	ER	2 fois par mois	A
B89-1-2	N-OX	2 fois par mois/2 fois	A/B
B89-1-3	OX	2 fois par mois/2 fois	A/B
B89-2	ER	2 fois par mois	A
B89-2-1	OX	2 fois par mois/2 fois	A/B
B89-2-2	N-OX	2 fois par mois/2 fois	A/B
B89-3	ER	2 fois par mois	A
B89-3-1	N-OX	2 fois par mois/2 fois	A/B
B89-3-2	N-OX	2 fois par mois/2 fois	A/B
B-90	ER	1 fois par mois	A
B90-1	TILL	1 fois par mois/2 fois	A/B
B90-2	TILL	1 fois par mois/2 fois	A/B
B90-3	N-OX	1 fois par mois/2 fois	A/B
B90-4	N-OX	1 fois par mois/2 fois	A/B
B90-5	OX	1 fois par mois/2 fois	A/B
B90-7	OX	1 fois par mois/2 fois	A/B
B-91	ER	1 fois par semaine	A
B91-1	TILL	1 fois par semaine/2 fois	A/B
B91-2	TILL	1 fois par semaine/2 fois	A
B91-3	TILL	1 fois par semaine/2 fois	A

TABLEAU 3.2: **CENTRE DE RECHERCHES MINÉRALES**
EXPÉRIMENTATION DE L'INONDATION DU PARC A RÉSIDUS SOLBEC-CUPRA (PHASE III)
DESCRIPTION DES POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE DE L'EAU ET DES PROGRAMMES D'ANALYSE

Point de prélèvement	Description	Fréquence des prélèvements	Programme d'analyse réalisé
B91-4	TOURBE	1 fois par semaine/2 fois	A/B
B91-5	TILL	1 fois par semaine/2 fois	A/B
B91-6	N-OX	1 fois par semaine/2 fois	A/B
B91-7	N-OX	1 fois par semaine/2 fois	A/B
B91-8	OX	1 fois par semaine/2 fois	A/B
B91-9	OX	1 fois par semaine/2 fois	A/B
B91-10	TOURBE	1 fois par semaine/2 fois	A/B
P-4	N-OX	2 fois par mois/2 fois	A/B
P-5	TILL	2 fois par mois/2 fois	A/B
P-6	N-OX	2 fois par mois/2 fois	A/B

LÉGENDE:

ER:	Eau de recouvrement des bassins.
OX:	Piézomètre installé dans la couche de résidus oxydés.
N-OX:	Piézomètre installé dans la couche de résidus non oxydés.
TILL:	Piézomètre installé dans le till.
TOURBE:	Piézomètre installé dans la tourbe.
A:	pH, Eh, Ks et O2.
B:	Alcalinité, CN total, CN disp., dureté, SO4, As, Ca, Cd, Cr, Cu, Mg, Hg, Ni, Pb, Zn et Fe.

brefs délais afin d'y filtrer les échantillons si nécessaire. Les autres bouteilles partiellement remplies ont été conservées au frais jusqu'à la tournée de prélèvement suivante. Ainsi, le premier prélèvement des échantillons prévus pour analyses en laboratoire s'est effectué tout au long du mois de septmebre 1991 et le second, tout au long du mois d'octobre;

4) Après chaque prélèvement, chacun des piézomètres a été asséché. Les pompes ont ensuite été retirées et déposées dans des sacs de polyéthylène propres et correctement identifiés.

La mesure du niveau de l'eau et des mesures de pH, Eh, Ks et O_2 ont également été réalisées sur des échantillons de l'eau de recouvrement des différents bassins. Les prélèvements d'eau dans les bassins ont été effectués directement à la surface de l'eau à l'aide d'un gobelet de plastique propre.

Au laboratoire, la conservation et l'analyse des échantillons ont été effectuées selon des méthodes standard. Les paramètres déterminés en laboratoire sur les échantillons d'eau sont l'alcalinité, la dureté, la teneur en cyanures, sulfates, arsenic, calcium, et métaux (cadmium, chrome, cuivre, magnésium, mercure, nickel, plomb, zinc et fer).

3.5.3 Résultats des mesures et analyses

Les niveaux d'eau et les résultats des mesures de paramètres physico-chimiques effectuées sur le terrain pour tous les points d'échantillonnage ayant fait l'objet du suivi environnemental sont tabulés à l'appendice 4 de ce rapport. Les graphiques montrant l'évolution des résultats obtenus pour les différents paramètres mesurés sur le site sont présentés à l'appendice 5. Enfin, tous les résultats des analyses chimiques réalisées en laboratoire sur les échantillons

d'eau souterraine de même que les résultats des analyses bactériologiques réalisées sur les échantillons de résidus miniers sont présentés sur les certificats d'analyse à l'appendice 6.

3.5.3.1 Valeurs de pH

De façon générale, pour la période d'observation considérée soit entre le 15 août et le 10 novembre 1991, les valeurs de pH de l'eau de recouvrement et de l'eau interstitielle dans les cinq bassins existants sont demeurées relativement constantes, et n'ont pas dans l'ensemble démontré de tendance régulière significative soit à la hausse soit à la baisse.

Pour l'eau de recouvrement des bassins, le pH a varié le plus souvent entre les valeurs de 6,7 et 8,2, sauf pour le cas du bassin B91 où les valeurs de pH obtenues se situent généralement entre 6,0 et 6,6. Quelques valeurs de pH comprises entre 9,1 et 9,8 ont de plus été mesurées dans l'eau de recouvrement du bassin B89-3 entre le 9 octobre et le 10 novembre.

Les mesures de pH effectuées en chantier sur des échantillons d'eau interstitielle récupérés dans les six piézomètres installés dans les résidus oxydés ont indiqué des valeurs généralement comprises entre 2,9 et 4,2 témoignant d'un milieu acide. Exceptionnellement, pour l'eau provenant des deux piézomètres installés dans les résidus oxydés du bassin B90, soit les piézomètres P90-5 et P90-7, les valeurs de pH obtenues se situent près de la neutralité variant généralement entre 6,2 et 6,7. Ponctuellement, des valeurs de 5,3 et 4,5 ont été obtenues pour l'eau du piézomètre P91-8 les 9 et 18 octobre, indiquant une légère augmentation du pH par rapport aux valeurs comprises entre 3,5 et 3,9 obtenues avant le 9 octobre. Il est à noter qu'aucune mesure de pH pour

l'eau du piézomètre P91-8 n'est disponible pour la période après le 18 octobre.

Les valeurs de pH obtenues sur les échantillons d'eau provenant des huit piézomètres installés à l'intérieur des bassins expérimentaux dans la couche de résidus non oxydés varient généralement entre 6,0 et 8,2, ces valeurs caractérisant un milieu relativement neutre. Pour le cas spécifique des piézomètres P91-6 et P91-7, les valeurs de pH observées semblent déterminer une légère tendance à la baisse. Des valeurs comprises entre 7,1 et 7,7 ont été mesurées pendant la première période d'observation d'une durée de l'ordre de 40 à 50 jours, alors que des valeurs se situant entre 6,0 et 7,0 ont été obtenues au cours de la période d'observation subséquente.

Pour les six piézomètres à l'intérieur des bassins placés dans la couche de tourbe, au contact de la tourbe et du till, et dans la couche de till, les valeurs de pH caractéristiques de l'eau échantillonnée sont comprises entre 6,4 et 7,6.

Enfin, les mesures de pH effectuées sur des échantillons d'eau récupérés dans les piézomètres P-4, P-6 et P-5 installés à l'extérieur des bassins expérimentaux, dans les résidus non oxydés aux profondeurs de 0,6 et 1,2 m, et au contact tourbe/till à la profondeur de 2,4 m respectivement, ont indiqué des valeurs se situant entre 2,5 et 2,9 (P-4, résidus non oxydés), entre 7,1 et 7,7 (P-6, résidus non oxydés), et entre 6,3 et 6,7 (P-5, contact tourbe/till).

3.5.3.2 Valeurs de potentiel d'oxydoréduction (Eh)

Les valeurs de potentiel d'oxydoréduction (Eh) obtenues sur des échantillons d'eau récupérés dans les bassins et les piézomètres en place montrent dans l'ensemble sur la période d'observation concernée,

des variations relativement faibles, et indiquent dans la plupart des cas des tendances évolutives peu marquées ou peu significatives. Les valeurs de Eh mesurées dans l'eau de recouvrement des bassins se situent globalement entre 79 et 266 mV, mais sont généralement comprises entre 100 et 250 mV.

Pour les bassins B89-1, B89-2 et B91, les valeurs de potentiel d'oxydoréduction obtenues sur des échantillons d'eau provenant des piézomètres installés au niveau des résidus oxydés s'inscrivent généralement entre 315 et 527 mV. Dans le cas du bassin B90, les valeurs de Eh de l'eau récupérée dans les piézomètres foncés au niveau des résidus oxydés (P90-5 et P90-7) se situent entre des valeurs de -29 et 55 mV, sauf pour une valeur anomalique de 297 mV mesurée le 18 octobre sur un échantillon d'eau du piézomètre P90-5. Il est à noter qu'exceptionnellement, les valeurs de Eh mesurées pour l'eau du piézomètre P91-8 (résidus oxydés) ont montré au cours de la période d'observation comprise entre le 11 septembre et le 26 octobre, une forte baisse passant graduellement d'une valeur de 416 à 120 mV.

Globalement, les valeurs de Eh mesurées dans l'eau provenant des piézomètres installés à l'intérieur des bassins dans la couche de résidus non oxydés sont comprises entre -45 et 181 mV. D'une part, on observe que les valeurs relatives aux bassins B89-1 (piézomètre P89-1-2) et B90 (piézomètres P90-3 et P90-4) se situent dans l'intervalle inférieur des valeurs de Eh défini par les valeurs -45 et 46 mV. D'autre part, les valeurs relatives aux bassins B89-2 (piézomètre P89-2-2) et B89-3 (piézomètres P89-3-1 et P89-3-2) se maintiennent dans l'intervalle supérieur des valeurs, soit entre 104 et 181 mV. Exceptionnellement, les valeurs de Eh mesurées sur l'eau des piézomètres installés à l'intérieur du bassin B91 dans les résidus non oxydés, soit dans les piézomètres P91-6 et P91-7, montrent des variations plutôt irrégulières entre les valeurs de -33 et 180 mV. Enfin, les mesures de

potentiel d'oxydoréduction réalisées sur des échantillons d'eau provenant des piézomètres P-4 et P-6 mis en place à l'extérieur des bassins expérimentaux dans les résidus non oxydés ont indiqué des valeurs de 469 et 620 mV dans le cas du piézomètre P-4 placé à la profondeur de 0,6 m, et des valeurs de 173 et 118 mV dans le cas du piézomètre P-6 foncé à la profondeur de 1,2 m. Une valeur anomalique de 1 200 mV a également été mesurée sur un échantillon d'eau provenant du piézomètre P-6.

Les valeurs du potentiel d'oxydoréduction de l'eau échantillonnée dans les piézomètres P90-1 et P90-2 dans la couche de till (bassin 90) se situent entre -49 et 44 mV. Pour les piézomètres P91-1 à P91-5, et P91-10 installés vraisemblablement au niveau de la couche de tourbe, au contact tourbe/till et dans la couche de till, les valeurs Eh varient entre -39 et 225 mV, mais sont le plus souvent comprises entre 100 et 200 mV approximativement. Les valeurs de Eh déterminées sur des échantillons d'eau récupérés dans le piézomètre P-5 foncé au contact tourbe/till sont -40 et -4 mV.

3.5.3.3 Valeurs de conductivité électrique (Ks)

Les valeurs de conductivité électrique (Ks) obtenues pour l'eau des bassins et des piézomètres montrent des variations et une évolution souvent spécifiques pour chacun des bassins, sauf peut-être pour l'eau de recouvrement pour laquelle les valeurs de Ks sont relativement stables et comparables pour les cinq bassins considérés, étant comprises entre 0,10 et 0,43 mmhos/cm.

Pour le cas de l'eau provenant des piézomètres installés dans les résidus oxydés, on note d'abord pour les bassins B89-1 et B89-2, des valeurs de Ks variant entre 1,17 et 0,51 mmhos/cm (B89-1-3), et entre 0,74 et 0,27 mmhos/cm (B89-2-1) respectivement, et montrant pour la

période d'observation considérée une évolution à la baisse. Pour le bassin B90, les valeurs de Ks déterminées sur l'eau des piézomètres P90-5 et P90-7 (résidus oxydés) sont relativement constantes, et s'inscrivent entre 2,13 et 2,48 mmhos/cm. Enfin, pour le bassin B91, des valeurs de conductivité électrique plutôt variables ont été obtenues pour les échantillons d'eau provenant des résidus oxydés. Ainsi, dans le cas du piézomètre P91-8, les valeurs de Ks varient entre 3,44 et 0,22 mmhos/cm, et montrent malgré une distribution plus ou moins irrégulière, une tendance générale à la baisse. Dans le cas du piézomètre P91-9, les valeurs mesurées démontrent au début de la période d'observation, une forte chute de la conductivité électrique avec des valeurs de 6,36 et 8,05 mmhos/cm passant à des valeurs de 1,78 et 0,97 mmhos/cm, puis indiquent une stabilisation subséquente avec des valeurs se situant entre 2,03 et 2,63 mmhos/cm.

Pour l'eau des résidus non oxydés, les valeurs de conductivité mesurées en chantier et relatives à chacun des bassins montrent également des variations bien marquées. Pour les piézomètres des bassins B89-1, B89-2 et B89-3 installés dans les résidus non oxydés, les valeurs de conductivité électrique sont comprises globalement entre 0,18 et 1,21 mmhos/cm, et ne semblent pas indiquer de tendance évolutive particulière, sauf peut-être dans le cas du piézomètre P89-2-2 où les valeurs obtenues suivent une tendance à la baisse, variant entre 0,60 et 0,27 mmhos/cm. Pour le bassin B90, les mesures de conductivité électrique effectuées sur des échantillons d'eau provenant des piézomètres P90-3 et P90-4 (résidus non oxydés) ont indiqué des valeurs généralement stables, mais supérieures aux valeurs observées pour les bassins B89, variant entre 2,45 et 3,09 mmhos/cm. Des valeurs de Ks très variables ont été déterminées pour l'eau des piézomètres P91-6 et P91-7 installés à l'intérieur du bassin 91 dans les résidus non oxydés. Les valeurs obtenues, comprises généralement entre 0,39 et 0,80 mmhos/cm au début de la période d'observation, montrent une augmentation brusque de la conductivité électrique à partir approximativement de la trentième

journée de suivi, les valeurs maximales atteintes étant 4,07 (P91-6) et 4,62 (P91-7) mmhos/cm. Par la suite, la conductivité électrique mesurée dans l'eau des piézomètres P91-6 et P91-7 diminue rapidement, et s'établit le 10 novembre, au moment de la dernière mesure de conductivité, à des valeurs de 3,43 et 2,74 mmhos/cm respectivement, ces valeurs ne constituant vraisemblablement pas des valeurs stabilisées. Dans le cas des piézomètres P-4 et P-6 localisés à l'extérieur des bassins, dans les résidus non oxydés, les valeurs de conductivité électrique mesurées sont 5,66 et 5,07 mmhos/cm, et 1,01 et 1,17 mmhos/cm respectivement.

Les valeurs de conductivité électrique mesurées dans l'eau des piézomètres P90-1 et P90-2 (couche de till) sont stables, et sont comprises entre 2,67 et 2,82 mmhos/cm. Dans le cas des piézomètres P91-1 à P91-5, et P91-10, foncés à l'intérieur du bassin B91 dans la couche de tourbe, au contact tourbe/till et dans le till, les valeurs de Ks obtenues varient généralement entre 0,3 et 1,40 mmhos/cm, et dénotent une augmentation plus ou moins marquée de la conductivité hydraulique en fonction du temps. Pour le piézomètre P91-1 spécifiquement, des valeurs comprises entre 1,17 et 1,69 mmhos/cm représentatives de la période d'observation s'étendant du 18 septembre au 9 octobre, constituent des valeurs anomaliques par rapport aux valeurs comprises entre 0,39 et 0,87 mmhos/cm observées avant le 18 septembre et après le 9 octobre. Enfin, des valeurs de conductivité relativement stables et comprises entre 0,62 et 0,82 mmhos/cm ont été déterminées sur des échantillons d'eau provenant du piézomètre P-5 installé à l'extérieur des bassins, au contact tourbe/till.

3.5.3.4 Concentrations en oxygène dissous (O_2)

Les concentrations en oxygène (O_2) dissous déterminées dans l'eau de recouvrement des bassins et dans l'eau des piézomètres varient globalement entre 0,3 et 15,0 mg/l, et évoluent généralement en "dents de scie".

Pour l'eau de recouvrement dans les bassins, les concentrations en O_2 dissous sont toujours comprises entre 7,1 et 15 mg/l. Dans le cas des bassins B89-2, B89-3 et B91, les concentrations obtenues déterminent une tendance à la hausse relativement bien marquée. Dans le cas des bassins B89-1 et B90, les concentrations semblent plus ou moins constantes dans le temps. Dans tous les cas à l'intérieur d'un même bassin, les concentrations en oxygène dissous dans l'eau de recouvrement sont supérieures aux concentrations mesurées dans l'eau des piézomètres.

Dans l'eau provenant des piézomètres installés dans les résidus oxydés, les concentrations en oxygène dissous mesurées varient entre 2,0 et 11,4 mg/l. Dans le cas des piézomètres P89-1-3 et P89-2-1 (bassins B89-1 et B89-2), les concentrations obtenues évoluent plus ou moins en "dents de scie", mais indiquent une tendance moyenne à la hausse. Pour les piézomètres du bassin B90 placés dans les résidus oxydés (P90-5 et P90-7), les concentrations suivent également une tendance à la hausse jusqu'à des valeurs de 8,8 et 9,0 mg/l, avant de chuter à une valeur de 4,4 mg/l après le 18 octobre, donc vers la fin de la période de suivi. Les concentrations en oxygène dissous mesurées dans l'eau échantillonnée dans les piézomètres P91-8 et P91-9 (résidus oxydés) en dépit de variations en "dents de scie" semblent se stabiliser plus ou moins à partir de la quinzième journée du suivi à l'intérieur d'un écart déterminé par les valeurs de 4,6 et 10,2 mg/l.

Pour les piézomètres installés dans les résidus non oxydés, les concentrations en oxygène dissous se situent entre 0,5 et 12,1 mg/l. Pour les piézomètres des bassins B89-1, B89-2 et B89-3, les concentrations observées indiquent une variation à la hausse. Dans le cas des piézomètres P90-1, P90-4, P91-6 et P91-7 (résidus non oxydés), l'évolution des concentrations montre pour la période d'observation, d'abord une augmentation de la concentration en O_2 dissous jusqu'à des valeurs maximales de l'ordre de 6 à 8 mg/l, puis par la suite une diminution jusqu'à des valeurs de l'ordre de 3,5 à 4,5 mg/l. Enfin, des concentrations en O_2 dissous de 9,6 et 10,6 mg/l, et variant entre 3,5 et 8,8 mg/l ont été mesurées respectivement sur des échantillons d'eau provenant des piézomètres P-4 et P-6 localisés à l'extérieur des bassins, dans les résidus non oxydés.

Les concentrations en oxygène dissous obtenues pour les piézomètres installés dans les bassins B90 et B91, dans la tourbe, au contact tourbe/till et dans le till, sont comprises entre 0,3 et 11,4 mg/l. Les concentrations mesurées montrent des variations irrégulières ("dents de scie"), et des tendances évolutives plus ou moins bien définies. Pour les piézomètres P91-1, P91-2, P91-3 et P91-5, la tendance moyenne des valeurs mesurées semble indiquer une augmentation de la concentration en O_2 dissous en fonction du temps. Pour les piézomètres P91-4, P91-10, P90-1 et P90-2, l'augmentation brusque ou graduelle de la concentration en O_2 dissous semble être suivie par une tendance plus ou moins marquée à la baisse. Les concentrations en O_2 dissous mesurées sur des échantillons d'eau récupérés dans le piézomètre P-5 localisé à l'extérieur des bassins et foncé vraisemblablement au contact tourbe/till, s'inscrivent entre 2,5 et 6,5 mg/l. La distribution des valeurs est irrégulière et ne permet pas d'identifier de tendance évolutive.

3.5.3.5 Alcalinité

L'alcalinité exprimée en concentration équivalente de $CaCO_3$ (mg/l) a été mesurée en laboratoire sur l'eau récupérée dans les piézomètres des bassins et dans les piézomètres P-5 et P-6 localisés à l'extérieur des bassins.

Pour l'eau provenant des piézomètres installés dans les résidus oxydés, les valeurs d'alcalinité obtenues sont nulles ou inférieures à la limite de détection, sauf dans le cas du piézomètre P90-7 où les valeurs déterminées pour les échantillons prélevés en septembre 91 et en octobre 91 sont 11,0 et 4,6 mg/l respectivement.

Dans le cas des piézomètres placés dans les résidus non oxydés, incluant le piézomètre P-6 localisé à l'extérieur des bassins, les valeurs d'alcalinité varient le plus souvent entre 49 et 450 mg/l, à l'exception de valeurs élevées comprises entre 950 et 1 778 mg/l obtenues pour les piézomètres P89-3-2, P91-6 et P91-7, et de valeurs comprises entre <1 et 22 mg/l obtenues pour l'eau des piézomètres P90-3 et P90-4. À une exception près (piézomètre P89-3-1), les valeurs d'alcalinité obtenues sur les échantillons prélevés au cours du mois d'octobre sont inférieures aux valeurs relatives aux échantillons du mois de septembre.

Les valeurs d'alcalinité mesurées sur des échantillons d'eau récupérés dans des piézomètres installés à l'intérieur du bassin 91 dans la tourbe et la couche de till sous-jacente varient entre 164 et 671 mg/l à l'exception d'une valeur de 1 730 mg/l obtenue pour le piézomètre P91-1 (till). Des valeurs de 304 et 300 mg/l ont été déterminées pour des échantillons d'eau provenant du piézomètre P-5 installé à l'extérieur du bassin au contact tourbe/till. Pour les piézomètres installés dans la couche de till dans l'enceinte du bassin B90 (P90-1 et P90-2), les valeurs d'alcalinité varient entre 68 et 98 mg/l. Comme pour les résidus non oxydés, les valeurs d'alcalinité relatives à

l'échantillonnage d'octobre 91 sont inférieures aux valeurs relatives à l'échantillonnage de septembre 91.

3.5.3.6 Dureté

La dureté de l'eau échantillonnée dans les piézomètres installés a également été déterminée en laboratoire. La dureté totale s'exprime en concentration équivalente de $CaCO_3$. Sauf pour le piézomètre P-5 installé à l'extérieur des bassins, les valeurs de dureté déterminées pour les échantillons prélevés au cours du mois d'octobre 91 sont supérieures aux valeurs obtenues pour les échantillons du mois de septembre 91.

Pour les piézomètres installés dans les résidus oxydés à l'intérieur des bassins B89, B90 et B91, les valeurs de dureté obtenues varient entre 51 et 225 mg/l pour les échantillons d'eau récupérés au cours du mois de septembre 91. Pour les échantillons prélevés en octobre 91, les valeurs de dureté s'établissent à 286 et 95 mg/l dans le cas des piézomètres P89-1-3 et P89-2-1, et varient entre 958 et 1 890 mg/l dans le cas des piézomètres installés dans l'enceinte des bassins B90 et B91.

La dureté de l'eau échantillonnée dans les piézomètres foncés dans les résidus non oxydés est caractérisée par des valeurs comprises globalement entre 55 et 3 225 mg/l. Pour les quatre piézomètres installés dans l'enceinte des bassins B89-1, B89-2 et B89-3, et le piézomètre P-6 localisé à l'extérieur des bassins, les valeurs de dureté se situent entre 55 et 306 mg/l. Pour les piézomètres installés à l'intérieur des bassins B90 et B91 et pour le piézomètre P-4 localisé à l'extérieur des bassins, les valeurs de dureté varient entre 1 204 et 3 225 mg/l, à l'exception des valeurs de 260 et 210 mg/l obtenues pour les échantillons prélevés au cours du mois de septembre dans les piézomètres P90-3 et P90-4 (bassin B90).

Les valeurs de dureté déterminées pour l'eau provenant des piézomètres installés dans la tourbe, au contact tourbe/till et dans le till se situent généralement entre 106 et 408 mg/l, à l'exception des valeurs de 930, 1 938 et 2 050 mg/l, obtenues pour les échantillons d'eau prélevés en octobre 91 dans les piézomètres P91-1, P90-1 et P90-2 respectivement.

3.5.3.7 Concentrations en calcium (Ca) et magnésium (Mg)

Pour tous les piézomètres considérés, les concentrations en calcium déterminées sur les échantillons prélevés au cours du mois d'octobre sont supérieures aux concentrations obtenues pour les échantillons du mois de septembre. Pour les piézomètres installés dans les résidus oxydés, les concentrations en Ca varient entre 10,6 et 72,1 mg/l, et entre 26,8 et 741,0 mg/l pour les échantillonnages de septembre et d'octobre respectivement. Pour l'eau échantillonnée dans les piézomètres foncés dans les résidus non oxydés, les concentrations déterminées sont relativement du même ordre de grandeur, avec des valeurs généralement comprises entre 13,9 et 83,2 mg/l pour l'échantillonnage de septembre, et des valeurs s'inscrivant entre 32,0 et 696,0 mg/l pour l'échantillonnage d'octobre. Exceptionnellement, des valeurs de 139,0 et 154,0 mg/l ont été déterminées sur les échantillons prélevés en septembre dans les piézomètres P91-6 et P91-7 (bassin B91) placés dans les résidus non oxydés. Enfin, pour les piézomètres installés dans la tourbe, au contact tourbe/till, et dans le till, les concentrations en calcium obtenues varient entre 19,0 et 70,4 mg/l, et entre 58,0 et 786,0 mg/l relativement aux échantillonnages de septembre et octobre respectivement.

Dans le cas des concentrations en magnésium déterminées sur les échantillons d'eau des piézomètres, les variations observées entre les valeurs obtenues pour les échantillons de septembre et les échantillons d'octobre sont généralement faibles, et sont indifféremment soit en plus

soit en moins. Ainsi pour les piézomètres installés dans les résidus oxydés, les concentrations en Mg se situent entre 6,0 et 10,8 mg/l, et entre 5,1 et 9,0 mg/l généralement, en regard des échantillonnages de septembre et octobre respectivement. Exceptionnellement, une valeur de 0,62 mg/l a été obtenue pour l'eau échantillonnée au cours du mois d'octobre dans le piézomètre P91-9 (résidus oxydés). Pour les résidus non oxydés, des concentrations en magnésium comprises entre 4,8 et 12,9 mg/l ont été déterminées pour les piézomètres installés à l'intérieur des bassins B89-1, B89-2, B89-3 et B90, et entre 204 et 296 mg/l pour les piézomètres installés à l'intérieur du bassin B91, soit pour les piézomètres B91-6 et B91-7. Les concentrations en Mg déterminées pour l'eau provenant des piézomètres P-4 et P-6 localisés à l'extérieur des bassins expérimentaux dans les résidus non oxydés sont 438,0 mg/l (P-4, octobre 91), et 44,0 et 54,8 mg/l (P-6, septembre et octobre 1991). Enfin, les concentrations en Mg obtenues pour les piézomètres foncés dans la couche de tourbe, au contact tourbe/till et dans le till, incluant le piézomètre P-5 installé à l'extérieur des bassins, varient globalement entre 10,4 et 43,8 mg/l.

3.5.3.8 Concentrations en sulfates

Les concentrations en sulfates déterminées sur les échantillons d'eau récupérés dans les piézomètres varient de façon relativement importante et irrégulière. Globalement, les valeurs observées se situent généralement entre 31 et 1 554 mg/l.

Dans le cas des résidus oxydés, les concentrations en sulfates déterminées varient entre 136,0 et 403,0 mg/l pour les piézomètres localisés dans l'enceinte des bassins B89-1 et B89-2, et généralement entre 917,0 et 1 260,0 mg/l pour les piézomètres en place dans les bassins B90 et B91. Dans l'ensemble, les valeurs relatives aux échantillons prélevés en octobre sont du même ordre de grandeur que les

valeurs relatives aux échantillons récupérés au cours du mois de septembre, sauf pour le piézomètre P91-8 pour lequel une chute de la concentration en sulfates de 1 239,0 (septembre) à 155,0 (octobre) mg/l a été observée.

Les concentrations en sulfates mesurées dans l'eau des piézomètres installés à l'intérieur des bassins dans les résidus non oxydés varient entre 35,0 et 507,0 mg/l dans le cas des piézomètres des bassins B89-1, B89-2 et B89-3 et entre 1 119,0 et 2 163,0 mg/l pour les piézomètres des bassins B90 et B91. Les valeurs relatives aux échantillons prélevés en octobre ne montrent généralement que de faibles variations par rapport aux valeurs représentatives des échantillons récupérés au cours du mois de septembre. Les valeurs observées indiquent pour les quatre piézomètres des bassins B90 et B91 une faible augmentation de la concentration en sulfates pour les échantillons prélevés au cours de la deuxième période d'échantillonnage (octobre 91). Les concentrations en sulfates déterminées pour les piézomètres P-4 et P-6 foncés dans les résidus non oxydés et localisés à l'extérieur des bassins sont 4 496,0 mg/l (P-4, octobre 91) et 77,0 et 58,0 mg/l (P-6, septembre et octobre 91).

Les concentrations en sulfates mesurées pour les piézomètres foncés à l'intérieur du bassin B91, dans la couche de tourbe et la couche de till sous-jacente, varient entre 34,0 et 181,0 mg/l (échantillonnage de septembre 91) et entre 71,0 et 355,0 mg/l (échantillonnage d'octobre 91); les valeurs observées pour l'échantillonnage d'octobre indiquent une augmentation de la concentration en sulfates par rapport aux valeurs relatives aux échantillons d'eau prélevés au cours du mois de septembre. Dans le cas des piézomètres P90-1 et P90-2 placés à l'intérieur du bassin B90 dans la couche de till, les concentrations en sulfates mesurées varient entre 1 252,0 et 1 554,0 mg/l. Enfin, pour le piézomètre P-5 foncé vraisemblablement au contact de la couche de tourbe et du till, et localisé à l'extérieur des bassins, les concentrations en sulfates déterminées sont 32,0 (septembre 91) et 31,0 (octobre 91) mg/l.

3.5.3.9 Concentrations en cyanures

Les concentrations en cyanures totaux et cyanures disponibles déterminées dans l'eau des piézomètres installés à l'intérieur et à l'extérieur des bassins expérimentaux sont généralement inférieures aux limites de détection pour ces paramètres, soit 0,02 mg/l. Des concentrations faibles comprises entre 0,04 et 0,35 mg/l ont toutefois été obtenues pour l'eau échantillonnée dans cinq des six piézomètres du bassin B90, installés indépendamment dans les résidus oxydés, non oxydés et dans le till, et au cours de l'échantillonnage de septembre uniquement.

3.5.3.10 Concentrations en métaux lourds

Les échantillons d'eau provenant des piézomètres installés à l'intérieur et à l'extérieur des bassins expérimentaux ont été analysés pour la présence d'arsenic (As), cadmium (Cd), chrome (Cr), cuivre (Cu), mercure (Hg), nickel (Ni), plomb (Pb), zinc (Zn) et fer (Fe). Globalement, la présence de métaux lourds en concentrations supérieures à la limite de détection inhérente à la méthode d'analyse a été observée le plus souvent dans les échantillons provenant des piézomètres installés dans les résidus oxydés, et également dans les piézomètres installés dans les résidus non oxydés, dans la tourbe et dans le till, à l'intérieur du bassin B91. Les piézomètres P89-3-1 et P89-3-2 installés à l'intérieur du bassin B89 dans les résidus non oxydés, et les piézomètres P-6 et P-5 localisés à l'extérieur des bassins dans les résidus non oxydés (profondeur de 1,2 m) et au contact tourbe/till respectivement, sont les piézomètres pour lesquels la présence de métaux lourds n'a pas été détectée en pratique. Le fer et le nickel sont les paramètres les plus fréquemment détectés.

La présence d'arsenic a été observée principalement dans les piézomètres échantillonnés des bassins B90 et B91 (résidus oxydés, non oxydés, tourbe et till), et dans les piézomètres installés à l'intérieur des bassins B89-1 et B89-2 dans les résidus oxydés. La présence d'arsenic a été également notée pour le piézomètre P-4 localisé à l'extérieur des bassins dans les résidus non oxydés. Globalement, les concentrations mesurées varient entre 0,006 et 0,019 mg/l.

La présence de cadmium a été identifiée principalement dans l'eau provenant des piézomètres du bassin B91. Les concentrations mesurées varient généralement entre 0,003 et 0,011 mg/l, sauf pour le piézomètre P91-8 (résidus oxydés) pour lequel les concentrations mesurées sont 0,024 (septembre 91) et 0,026 mg/l (octobre 91).

Des concentrations en chrome ont été déterminées pour des piézomètres installés dans les résidus oxydés, et pour les piézomètres du bassin B91 placés dans les résidus non oxydés et dans la tourbe. Les concentrations obtenues varient entre 0,02 et 0,09 mg/l, à l'exception d'une valeur de 0,14 mg/l obtenue pour le piézomètre P91-10 (septembre 91) foncé dans la tourbe. Une concentration en Cr de 0,03 mg/l a également été mesurée sur un échantillon d'eau (octobre 91) provenant du piézomètre P-4 installé à l'extérieur des bassins, dans les résidus non oxydés.

La présence de cuivre a été détectée dans l'eau provenant des piézomètres P89-1-3 et P89-2-1 installés dans les résidus oxydés à l'intérieur des bassins B89-1 et B89-2 respectivement, ainsi que dans les piézomètres échantillonnés du bassin B91 (résidus oxydés, non oxydés, tourbe et till). Les concentrations observées se situent entre 0,02 et 0,10 mg/l, à l'exception de valeurs comprises entre 0,32 et 17,1 mg/l obtenues pour les piézomètres P91-8 et P91-9 installés dans les résidus oxydés, et P91-10 (septembre 91) installé dans la couche de tourbe. Une concentration en Cu de 2,47 mg/l a également été déterminée

pour l'eau échantillonnée au cours du mois d'octobre 91 dans le piézomètre P-4 localisé à l'extérieur des bassins dans les résidus non oxydés.

Les concentrations en mercure (Hg) obtenues pour les piézomètres échantillonnés varient généralement entre 0,0003 et 0,0016 mg/l. La présence de Hg a été détectée principalement dans les piézomètres installés dans les résidus oxydés à l'intérieur des bassins, et dans les autres piézomètres du bassin B91 foncés dans la couche de résidus non oxydés, dans la tourbe et dans le till. Des concentrations comprises entre 0,007 et 0,0012 mg/l ont également été déterminées pour les piézomètres P90-3 et P90-4 (bassin 90), et pour le piézomètre P-4 (extérieur des bassins), installés dans les résidus non oxydés.

Des concentrations de nickel comprises entre 0,01 mg/l (limite de détection) et 0,06 mg/l ont été déterminées pour les piézomètres du bassin 91 installés dans les résidus oxydés et non oxydés, dans la tourbe et dans le till, ainsi que pour le piézomètre P89-1-3 (bassin B89) placé dans les résidus oxydés. La présence de Ni a également été décelée dans l'eau provenant du piézomètre P-4 localisé à l'extérieur des bassins dans les résidus non oxydés, avec une concentration de 0,19 mg/l.

La présence de plomb a été décelée pour seize (16) des vingt (20) piézomètres installés dans les bassins et échantillonnés pour analyse. Ces piézomètres sont les piézomètres P89-1-3 et P89-2-1 installés dans les bassins B89-1 et B89-2 dans les résidus oxydés, cinq (5) des six (6) piézomètres du bassin B90 (résidus oxydés, non oxydés, et till), et cinq (5) piézomètres du bassin B91 (résidus oxydés, non oxydés, et till). Les concentrations observées se situent généralement entre 0,02 et 0,09 mg/l, à l'exception de valeurs comprises entre 0,32 et 2,54 mg/l obtenues pour les piézomètres P89-2-1, P91-8 et P91-9 placés dans les résidus oxydés.

La présence de zinc a été détectée dans l'eau provenant de quatorze (14) piézomètres incluant le piézomètre P-4 localisé à l'extérieur des bassins. Les piézomètres concernés sont installés indifféremment dans les résidus oxydés, non oxydés, dans la tourbe et dans le till. Les concentrations varient généralement entre 0,08 et 2,75 mg/l, sauf pour le piézomètre P-4 pour lequel une valeur de 5,46 mg/l a été obtenue.

Enfin, la présence de fer a été notée dans vingt-et-un (21) piézomètres, incluant les piézomètres P-4, P-5 et P-6 localisés à l'extérieur des bassins. De fait, seules les analyses effectuées sur les échantillons d'eau (septembre et octobre 91) provenant des piézomètres P89-3-1 et P89-3-2 installés dans les résidus non oxydés du bassin B89-3 n'ont pas indiqué de concentrations en Fe supérieures à la limite de détection (0,05). Les concentrations en fer déterminées se situent généralement entre 0,05 et 3,9 mg/l. Des valeurs comprises entre 10,6 et 27,2 mg/l ont été obtenues pour les piézomètres P90-5 et P91-9 installés dans les résidus oxydés. Des valeurs se situant entre 68,4 et 472 ont été déterminées pour les piézomètres P90-3 et P-4 installés dans les résidus non oxydés.

3.5.3.11 Analyses bactériologiques sur les résidus

Les analyses bactériologiques effectuées sur les échantillons de résidus prélevés au fond des bassins expérimentaux ont indiqué des valeurs de 160 000 et 320 000 bactéries totales/g pour les bassins B89-1 et B89-2, de 26 000 bactéries totales/g pour le bassin B90, et de 2 000 bactéries totales/g pour le bassin B89-3. Dans le cas du bassin B91, le résultat de l'analyse (<10 bactéries totales/g) n'indique aucune activité bactériologique substantielle. Il est à noter que l'échantillon de résidus a été prélevé dans le bassin B91 avant que l'inondation ne soit effectuée.

3.6 Analyse et interprétation des résultats

Tel qu'exposé dans Steffen, Robertson and Kirsten, 1989 (voir référence No 10, appendice 7), le mécanisme de production de DMA est un phénomène évolutif complexe, résultant d'un certain nombre de réactions chimiques interdépendantes, principalement des réactions d'oxydation. La production de DMA nécessite la présence de minéraux sulfurés réactifs, d'eau et d'un oxydant, généralement l'oxygène. La présence de bactéries peut influencer le processus de production de DMA en diminuant ou en augmentant la vitesse des réactions chimiques impliquées. À priori, l'absence totale d'humidité ou d'oxydant devrait inhiber le processus.

Le programme d'expérimentation mis de l'avant par le CRM cherche à établir essentiellement dans quelle mesure l'inondation est susceptible d'inhiber l'oxydation des résidus et la production de DMA dans un milieu où le processus a déjà été enclenché. Les données recueillies au cours de la phase III du programme d'expérimentation ont été analysées et interprétées en considération de cet objectif.

Les mesures de pH effectuées dans l'eau de recouvrement et dans les piézomètres installés au site expérimental différencient d'une part un milieu acide caractérisé par des pH compris généralement entre 2,5 et 4,2, et d'autre part un milieu relativement neutre caractérisé par des pH variant le plus souvent entre 6,0 et 8,2. Les pH neutres sont dans l'ensemble associés à l'eau de recouvrement dans les bassins expérimentaux, à l'eau interstitielle des résidus non oxydés, et à l'eau interstitielle des couches de tourbe et de till sous-jacentes aux résidus. Les pH acides caractérisent généralement l'eau interstitielle de la couche superficielle de résidus oxydés dans les bassins expérimentaux. Exceptionnellement, des pH près de la neutralité (6,2 à 6,7) ont été mesurés pour l'eau provenant des piézomètres P90-5 et P90-7 installés à l'intérieur du bassin B90 dans les résidus oxydés. Également, des pH acides (2,5 à 2,9) ont été obtenus pour l'eau du

piézomètre P-4 localisé à l'extérieur des bassins expérimentaux à la profondeur de 0,60 m dans les résidus présumément non oxydés.

Dans le cadre de la phase II du programme d'expérimentation, un accroissement du pH avait été observé au cours de la période de suivi, pour l'eau échantillonnée dans le piézomètre P90-5. Le pH était alors passé brusquement dans l'espace d'une semaine en juillet, d'une valeur de 3,2 à une valeur de 5,5, puis graduellement à une valeur de l'ordre de 6,5. La variation brusque du pH avait également été observée pour le piézomètre P90-6 qui toutefois dès juillet avait été jugé défectueux, et remplacé par le piézomètre P90-7. Les valeurs de pH obtenues subséquemment dans le P90-7 s'étaient alors maintenues entre le 15 août et le 10 octobre entre 6,0 et 6,6. L'accroissement de pH observé pour le piézomètre P90-5 avait à ce moment été perçu comme une indication que l'oxydation des résidus avait été inhibée, du moins momentanément, et que l'eau interstitielle dans la couche de résidus oxydés devenait plus ou moins neutre sous l'effet d'une dilution relative à un écoulement vertical dans le bassin. Par ailleurs, au terme de la phase III de l'expérimentation, et compte tenu des observations faites globalement pour les bassins B89-1, B89-2 et B91, il apparait plus vraisemblable que l'accroissement subit de pH observé pour l'eau du piézomètre P90-5 et son maintien à des valeurs élevées soient attribuables à une infiltration (écoulement préférentiel) de l'eau de recouvrement le long du tube piézométrique.

Dans le cas du piézomètre P-4, des valeurs de pH acides ont été obtenues à partir de la phase II du programme d'expérimentation, des pH compris entre 6,4 et 6,7 ayant été obtenus au cours de la phase I. À priori, les pH acides mesurés sur des échantillons d'eau provenant du piézomètre P-4 au cours des phases II et III du programme d'expérimentation pourraient indiquer une progression locale de la zone d'oxydation. Il est à noter que le piézomètre P-4 se situe à la profondeur de 0,60 m dans la zone de fluctuation du niveau phréatique, milieu qui

généralement est susceptible de favoriser des réactions d'oxydation. Cette hypothèse semble appuyée également par les mesures de Eh et de Ks effectuées au terrain dans l'eau provenant du piézomètre P-4, et par les concentrations en sulfates et métaux détectées au laboratoire.

Globalement, les valeurs de pH observées au cours de la période de suivi de 91 sont demeurées stables pour chacun des piézomètres. De plus, lorsque comparées aux valeurs de pH enregistrées en 89 et 90 pour les mêmes piézomètres, les valeurs de pH de 91 démontrent la même constance. Dans la mesure où une hauteur d'eau dans les bassins de l'ordre de 0,5 à 1,0 m induit verticalement dans les couches superficielles du terrain un écoulement d'eau de pH relativement neutre, les valeurs constantes de pH acide caractérisant l'eau interstitielle de la couche de résidus oxydés démontrent que l'oxydation des résidus dans la zone oxydée est demeurée un phénomène actif en dépit de l'inondation. Les valeurs de pH près de la neutralité demeurées constantes tout au long des séquences de suivi témoignent vraisemblablement du potentiel de neutralisation des résidus non oxydés, de la tourbe et du till. Pour le cas spécifique du bassin B89-3, ce bassin étant caractérisé par l'absence d'une couche de résidus oxydés, les valeurs de pH maintenues près de la neutralité confirment que le processus d'oxydation n'a pas encore été amorcé.

Les valeurs du potentiel d'oxydoréduction, de la même façon que les valeurs de pH, déterminent des milieux différents. La couche de résidus oxydés, en vertu de valeurs de Eh de son eau interstitielle comprises généralement entre 315 et 527 mV, constitue un milieu relativement "oxydant" par rapport à l'eau de recouvrement dans les bassins caractérisée par des valeurs de Eh variant le plus souvent entre 100 et 250 mV, et encore plus par rapport aux résidus non oxydés, à la tourbe et au till pour lesquels les valeurs de Eh mesurées dans l'eau interstitielle varient entre -49 et 225 mV. Comme dans le cas des valeurs de pH, des anomalies ont été notées pour les valeurs de Eh dans le cas des piézomètres P90-5 et P90-7 et dans le cas du piézomètre P-4.

D'une part, les valeurs de Eh obtenues pour l'eau des piézomètres P90-5 et P90-7 installés dans les résidus oxydés varient généralement entre -29 et 55 mV et semblent caractériser un milieu relativement "réducteur" par rapport aux valeurs obtenues pour les résidus oxydés dans les bassins B89-1, B89-2 et B91. D'autre part, les valeurs de 469 et 620 mV déterminées sur des échantillons d'eau provenant du piézomètre P-4 initialement foncé dans des résidus présumément non oxydés, s'apparentent davantage aux valeurs de Eh caractéristiques d'un milieu relativement "oxydant". Enfin, il est à noter que les valeurs de Eh mesurées en chantier au cours des phases d'expérimentation I et II, en 89 et 90 respectivement, sont généralement comparables entre elles, mais diffèrent des valeurs obtenues en 91 au cours de la phase III. Cette divergence à priori semble refléter une différence de la qualité de l'eau utilisée pour l'alimentation des bassins en 89 et 90 par rapport à l'eau utilisée en 91.

L'alcalinité de l'eau constitue une mesure de la capacité de l'eau à neutraliser les acides. L'analyse des valeurs d'alcalinité obtenues pour les échantillons d'eau prélevés dans les piézomètres permet les constatations suivantes:

- L'eau issue des résidus oxydés dans les bassins présente généralement une alcalinité négligeable ou nulle.

- Dans l'ensemble, les valeurs d'alcalinité observées au cours de la phase III de l'expérimentation pour les piézomètres du bassin 91 installés dans les couches sous-jacentes aux résidus oxydés sont beaucoup plus grandes que les valeurs d'alcalinité obtenues pour les piézomètres des bassins B89 (-1, -2 et -3) et B90.

- Une réduction des valeurs d'alcalinité a généralement été observée au cours de la période de suivi de 91 (échantillonnage de septembre vs échantillonnage d'octobre) pour les piézomètres installés dans les bassins sous le niveau des résidus oxydés. Cette réduction est particulièrement substantielle dans le cas des piézomètres P91-6 et P91-7 (résidus non oxydés), et P91-4 et P91-10 (tourbe) pour lesquels des réductions d'alcalinité de l'ordre de 65 à 90% ont été observées au cours de la période de suivi de 91.

- La comparaison entre les valeurs d'alcalinité disponibles pour les suivis de 89, 90 et 91 montre de plus une baisse progressive depuis 89 de l'alcalinité de l'eau échantillonnée dans les piézomètres installés dans les bassins.

- Dans le cas particulier des piézomètres P-6 et P-5 localisés à l'extérieur des bassins, dans les résidus non oxydés et au contact tourbe/till, les valeurs obtenues en 91, et en 89 et 90, montrent d'une part une certaine stabilité avec des valeurs de l'ordre de 420 et 450 mg/l (P-6), et de 300 à 400 mg/l (P-5), et sont d'autre part généralement supérieures aux valeurs d'alcalinité mesurées sur les échantillons d'eau prélevés au cours du mois d'octobre dans les piézomètres installés à l'intérieur des bassins.

L'évolution à la baisse de l'alcalinité de l'eau échantillonnée dans les piézomètres depuis 89 et la baisse de l'alcalinité particulièrement substantielle observée pour les piézomètres du bassin B91 au cours de la période d'observation de 91 résultent possiblement de deux phénomènes, l'un étant le lessivage des minéraux neutralisant s'effectuant dans les couches de terrain sous l'effet d'un écoulement vertical, et l'autre étant le processus de neutralisation agissant pour neutraliser l'apport vraisemblable d'eau acide de la couche supérieure de résidus oxydés.

Le rôle actif du lessivage à l'intérieur du bassin B91, bassin dans lequel les effets du lessivage sont les plus apparents, est également mis en évidence à l'analyse des valeurs de conductivité électrique et des concentrations en sulfates obtenues pour l'eau échantillonnée dans les piézomètres. Ainsi, on observe pour les piézomètres P91-8 et P91-9 installés dans les résidus oxydés des valeurs initiales de conductivité électrique plus élevées évoluant vers des valeurs finales plus faibles. Pour les piézomètres P91-6 et P91-7 installés dans la couche de résidus non oxydés, on observe une augmentation de valeurs de Ks avec un maximum atteint entre le 50e et le 75e jour de suivi, et une chute subséquente des valeurs. Pour les piézomètres installés dans la couche de tourbe, au contact tourbe/till, et dans la couche de till, les valeurs de conductivité électrique montrent un accroissement relativement faible mais progressif des valeurs de conductivité électrique. De plus, on note pour les piézomètres P91-8 et P91-9 (résidus oxydés) au cours de la période d'observation de 91 (échantillonnage de septembre et octobre) une baisse des concentrations en sulfates, correspondant à des hausses de concentration en sulfates dans les couches sous-jacentes (résidus non oxydés, tourbe, till).

Il est à noter que les concentrations en sulfates de l'eau échantillonnée en 91 dans les bassins B89-1 et B89-2 variant entre 95 à 507 mg/l demeurent malgré un lessivage plus élevées que les concentrations obtenues pour les résidus non oxydés du bassin B89-3 (bassin sans résidus oxydés), ces concentrations étant comprises entre 35 et 63 mg/l. Quoique relativement faibles, ces différences pourraient indiquer que le processus d'oxydation était encore actif dans les couches de résidus oxydés des bassins B89-1 et B89-2, les sulfates étant un produit de l'oxydation des sulfures.

La présence de métaux lourds en concentrations supérieures aux limites de détection des analyses a été détectée en 91 dans l'eau des piézomètres installés au site expérimental. Des concentrations en plomb, mercure, cuivre, chrome et cadmium supérieures aux critères "B" du Ministère de l'Environnement du Québec (MENVIQ) indicatifs de la contamination de l'eau souterraine ont été déterminées pour l'eau des piézomètres installés dans les résidus oxydés de surface, mais également de façon plus ponctuelle dans l'eau des résidus non oxydés des bassins, et même à l'endroit du bassin B91 dans l'eau provenant de la couche de till. Des concentrations supérieures aux critères "C" du MENVIQ ont été détectées pour le mercure, le plomb et le cuivre dans l'eau provenant essentiellement des piézomètres installés dans les résidus oxydés, dans les bassins B89-1, B89-2 et B91, et à l'extérieur des bassins dans le cas du piézomètre P-4. Pratiquement aucune présence de métaux lourds n'a été détectée dans l'eau des résidus non oxydés du bassin B89-3 (bassin sans résidus oxydés), et dans l'eau des piézomètres P-6 et P-5 localisés à l'extérieur des bassins dans les résidus non oxydés et au contact tourbe/till. Il appert compte tenu de ces observations que la présence des métaux observée dans l'eau des piézomètres installés dans les bassins résulte du lessivage de la couche de résidus oxydés sous l'effet d'un écoulement vertical. Les variations des concentrations observées pour l'eau échantillonnée en septembre et en octobre 91 respectivement, tantôt à la hausse tantôt à la baisse, ne permettent toutefois pas de statuer sur la seule base des concentrations en métaux lourds, sur l'évolution du processus d'oxydation et de production d'acide dans la couche de résidus oxydés.

Enfin, il est à noter que les analyses bactériologiques effectuées sur des échantillons de résidus prélevés en surface dans les bassins B89 (-1, -2, -3), B90 et B91 démontrent que dans le contexte de l'inondation, les résidus oxydés constituent un milieu propice au développement des bactéries contrairement aux résidus non oxydés (bassin B89-3).

4.0 EFFET DES VENTS ET DU SOLEIL SUR LA MISE EN SUSPENSION DES PARTICULES FINES DANS UN ÉVENTUEL PLAN D'EAU

4.1 Généralités

L'inondation du parc à résidus Solbec-Cupra entrainera nécessairement des rejets d'eau ou effluets qui rejoindront le réseau hydrique local. La mise en suspension de résidus dans le plan d'eau, et le passage de ces résidus au réseau hydrique local par le biais des rejets ou effluents représentent un risque de contamination.

L'analyse théorique de l'effet des vents sur une mise en suspension des résidus a nécessité les étapes suivantes:

- L'analyse des données météorologiques locales dans le but de caractériser les conditions de vent au site à l'étude.

- Le calcul des vitesses de déposition et des vitesses critiques d'entrainement des particules dans l'eau afin de déterminer les vitesses verticale et horizontale requises pour maintenir les particules en suspension.

- L'estimation des courants de fond générés par les vents pour déterminer si les vents anticipés au site sont susceptibles d'initier la mise en suspension des particules en générant des courants supérieurs ou égaux aux vitesses de déposition et d'entrainement des particules.

4.2 Analyse des données météorologiques locales

Les données de vent d'une station météorologique temporaire située à Tring-Jonction (50 kilomètres au nord-est du site) ont été analysées afin d'estimer les vitesses de vent locales. L'analyse des vents des mois d'avril à octobre 1989 inclusivement révèle une dominance des vents de l'ouest (58% du temps, le vent souffle entre le nord-ouest et le sud-ouest). Indépendamment de la direction, les vitesses de vent des sept mois considérés se classent selon la distribution représentée au tableau 4.1. La vitesse moyenne est d'environ 16 km/h. Quinze pourcent (15%) des vitesses de vent mesurées sont supérieures à 25 km/h (la moyenne de cette classe de vitesses est de 32 km/h). Compte tenu de la localisation du site dans un secteur topographiquement bas, les vitesses de vent effectives au niveau du bassin devraient être légèrement inférieures.

TABLEAU 4.1: DISTRIBUTION DES VITESSES DE VENT POUR LA PÉRIODE D'AVRIL À OCTOBRE 1989 - STATION TRING-JONCTION

Vitesse (km/h)	%
0 - 5	7,3
5 - 10	20,0
10 - 15	21,2
15 - 20	20,1
20 - 25	16,3
>25	15,1
- Vitesse moyenne	: 15,6 km/h
- Moyenne des vitesses supérieures à 25 km/h	: 31,6 km/h

4.3 Granulométrie des résidus

Les résidus miniers oxydés sont composés essentiellement de pyrite (95%; densité relative 5). Trois analyses granulométriques ont révélé que les particules de résidus en surface sont très fines (voir tableau 4.2), conséquence probable du traitement subi. Leur diamètre varie de 20 à 250 µm au sud du dépôt, et de 3 à 200 µm au nord du dépôt.

4.4 Vitesses de déposition des particules

Les vitesses de déposition des particules dans l'eau peuvent être calculées à l'aide de la relation de Stoke pour les très fines particules, et à l'aide de la relation de Newton pour les particules plus grossières. On pose comme hypothèses de calcul que les particules sont sphériques et que chaque particule n'est pas entravée par les autres. Les vitesses de déposition calculées (eau à 15°C) sont représentées au tableau 4.2. On constate que ces vitesses sont relativement faibles en raison de la finesse des particules. Par exemple, les vitesses de déposition des particules inférieures à 20 µm (environ 40% de la masse totale en surface) sont inférieures à 0,1 cm/s. Pour maintenir en suspension une particule, il suffirait que l'eau ait une vitesse verticale vers le haut égale ou supérieure à celle de sa vitesse de déposition. Les vitesses de déposition indiquées au tableau 4.2 augmentent de 20% si l'eau est à une température de 25°C et elles diminuent de 26% si la température est de 5°C. C'est principalement la variation de la viscosité qui affecte ainsi les vitesses de déposition. C'est d'ailleurs le seul effet prévisible que le soleil et la température ambiante puissent avoir comme impact au niveau de la mise en suspension des particules. Lorsque les particules sont dans des suspensions très concentrées, leurs vitesses de déposition sont diminuées en raison de l'augmentation de la viscosité apparente. Cette diminution peut aller jusqu'à 60%.

TABLEAU 4.2: CENTRE DE RECHERCHE MINÉRALES
EXPÉRIMENTATION DE L'INONDATION DU PARC A RÉSIDUS
SOLBEC-CUPRA (PHASE III)
ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE ET VITESSES DE DÉPOSITION DES RÉSIDUS DE SURFACE

ÉCHANTILLON No	DIAMETRE (mm)	DIAMETRE MOYEN (mm)	% MASSIQUE	VITESSE DE DÉPOSITION (cm/s)
F1-1SS	0,003 - 0,04	0,021	10	0,085
	0,04 - 0,07	0,055	10	0,58
	0,07 - 0,07	0,070	10	0,95
	0,07 - 0,075	0,072	10	1,0
	0,075 - 0,090	0,082	10	1,3
	0,090 - 0,11	0,10	10	1,6
	0,11 - 0,14	0,125	10	2,3
	0,14 - 0,16	0,15	10	3,1
	0,16 - 0,20	0,18	10	3,8
	0,20 - 0,30	0,25	10	6,1
F3-1SS	0,001 - 0,004	0,0025	10	0,0012
	0,004 - 0,007	0,0055	10	0,006
	0,007 - 0,010	0,0085	10	0,014
	0,010 - 0,013	0,0115	10	0,025
	0,013 - 0,016	0,0145	10	0,041
	0,016 - 0,020	0,018	10	0,063
	0,020 - 0,030	0,025	10	0,12
	0,030 - 0,035	0,0325	10	0,20
	0,035 - 0,050	0,0475	10	0,35
	0,050 - 0,30	0,175	10	3,6
F4-2HS	0,001 - 0,006	0,0035	10	0,0024
	0,006 - 0,007	0,0065	10	0,0082
	0,007 - 0,010	0,0085	10	0,014
	0,010 - 0,018	0,014	10	0,038
	0,018 - 0,025	0,021	10	0,085
	0,025 - 0,029	0,027	10	0,14
	0,029 - 0,035	0,032	10	0,20
	0,035 - 0,050	0,043	10	0,35
	0,050 - 0,090	0,070	10	0,95
	0,090 - 2,0	1,0	10	6,0

4.5 Vitesses critiques d'entrainement des particules

L'effet d'entrainement de particules sédimentées par un écoulement horizontal a déjà fait l'objet d'études dans le domaine de l'hydraulique. Quelques équations de type semi-empirique ont été obtenues. Deux d'entre elles sont particulièrement intéressantes puisqu'elles calculent la vitesse critique d'entrainement en fonction de la vitesse horizontale moyenne d'écoulement. La première est la relation de Jaroki-Levy et la seconde est celle de Neill. Le tableau 4.3 représente les vitesses critiques d'entrainement pour différentes dimensions de particules.

4.6 Courants et turbulences générés par le vent

En raison du fetch court (distance de libre parcours du vent en surface) et de la faible profondeur d'eau du bassin projeté, les vagues auront peu de temps pour se développer. Par exemple, un vent de 32 km/h avec un fetch de 1 km peut générer au maximum une vague de 0,3 m de hauteur lorsque la profondeur est constante à 1,5 m. Le mouvement oscillatoire des vagues crée une turbulence limitée aux premières couches, sauf dans le cas du déferlement sur les berges.

On a observé que les vents génèrent à la surface de l'eau des vitesses de l'ordre de 2 à 5% de leur vitesse. Dans le cas d'un bassin peu profond, ce pourcentage s'approchera plus du 2% en raison des forces de cisaillement élevées.

Dépendant de la forme et de la bathymétrie du bassin, les courants de surface peuvent être balancés de deux façons. Dans le cas d'un bassin circulaire de profondeur faible et constante, le vent devrait générer un

TABLEAU 4.3: CENTRE DE RECHERCHES MINÉRALES
EXPÉRIMENTATION DE L'INONDATION DU PARC A RÉSIDUS
SOLBEC-CUPRA (PHASE III)
VITESSES CRITIQUES D'ENTRAINEMENT

ÉCHANTILLON No	DIAMETRE DES PARTICULES (mm)	VITESSE CRITIQUE (m/s)					
		Jurski-Levi			Neill		
		D = 0,5	D = 1,5	D = 2,5	D = 0,5	D = 1,5	D = 2,5
F1	0,25	0,39	0,47	0,50	0,33	0,37	0,39
	0,082	0,27	0,31	0,33	0,21	0,24	0,25
	0,021	0,16	0,19	0,20	0,12	0,14	0,15
F3	0,175	0,35	0,41	0,44	0,29	0,32	0,34
	0,0145	0,14	0,16	0,17	0,11	0,12	0,13
	0,0025	0,071	0,080	0,082	0,053	0,060	0,062
F4	1,0	0,59	0,74	0,81	0,58	0,65	0,68
	0,021	0,16	0,19	0,20	0,12	0,14	0,15
	0,0035	0,081	0,090	0,095	0,061	0,067	0,071

D = Hauteur de l'écoulement

courant dans la même direction au centre avec retour sur les côtés (figure 4.1A). Dans le cas d'une force allongée ou d'un profil en V, le retour se ferait plutôt par le fond (figure 4.1B).

Dans le cas d'un retour sur les côtés, on devrait obtenir un courant unidirectionnel sur toute la hauteur de la colonne d'eau. Pour un vent de 32 km/h, la vitesse en surface atteindrait théoriquement un maximum de 0,2 m/s. En supposant un écoulement laminaire de type parabolique, la vitesse moyenne serait donc approximativement 0,1 m/s. En comparant cette vitesse à la vitesse d'entrainement critique, on remarque que les plus fines particules ont un potentiel d'entrainement, qui diminue cependant rapidement avec la profondeur du bassin.

Dans le cas où le courant de retour s'effectue par le fond, le courant de surface occupe environ le premier tiers de la colonne d'eau et le courant de retour, les deux derniers tiers. Comme les forces de cisaillement sont plus grandes que dans le cas précédent, le vent devrait générer des vitesses de surface plus faibles. En utilisant un facteur de 2% et un vent de 32 km/h, on obtient comme précédemment une vitesse de surface de 0,2 m/s. Une vitesse moyenne de 0,1 m/s est à nouveau obtenue en supposant un écoulement laminaire, mais calculée cette fois-ci sur le tiers supérieur. L'écoulement laminaire en sens opposé aurait une vitesse de 0,05 m/s en raison du rapport des hauteurs. En comparant à nouveau les vitesses critiques d'écoulement, on remarque que les plus fines particules sont maintenant à la limite de l'entrainement. Dans ce cas-ci, la hauteur d'écoulement est égale à 67% de la profondeur du bassin.

FIGURE 4.1A - COURANT RETOURNANT PAR LES CÔTÉS

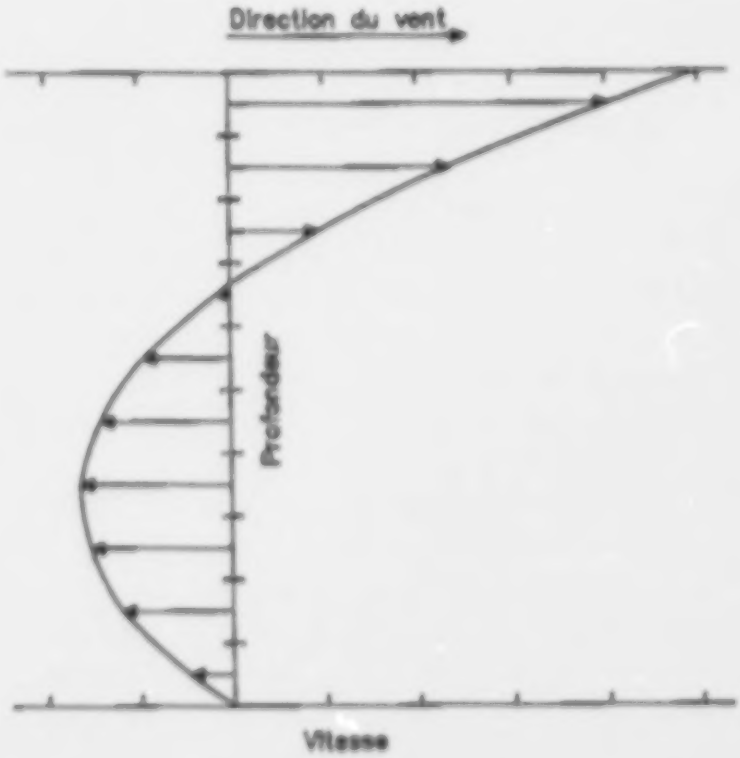


FIGURE 4.1B - COURANT RETOURNANT PAR LE FOND

4.7 Commentaires et limites de l'analyse

L'étude théorique de l'effet des vents et du soleil réalisée dans le cadre de ce mandat montre que pour les conditions de vent considérées les particules fines des résidus sont susceptibles dans une certaine mesure d'être remises en suspension, et particulièrement dans les zones de faible profondeur du plan d'eau éventuel. Les vitesses de déposition calculées étant relativement faibles, les fines particules pourraient alors être entrainées dans l'effluent avant qu'elles ne se redéposent.

Les résultats d'une analyse théorique de l'effet des vents sont nécessairement perfectibles puisque certaines hypothèses posées et données utilisées ne reflètent que partiellement la réalité. En plus des conditions météorologiques qui peuvent différer des conditions anticipées, il faut noter le caractère particulièrement imprévisible des phénomènes impliqués, à savoir turbulences, cohésion des particules, etc. Des études additionnelles comportant des mesures spécifiques et des analyses en modèle numérique ou en modèle réduit (essai en soufflerie) devraient par conséquent être envisagées pour valider et compléter la présente analyse théorique.

5.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Le présent rapport renferme tous les résultats des travaux réalisés dans le cadre de la phase III de l'expérimentation de l'inondation du parc à résidus Solbec-Cupra. L'analyse de ces résultats supporte les conclusions suivantes:

- L'inondation naturelle du parc à résidus jusqu'au niveau requis pour assurer une couverture d'eau minimale de 1,0 m devrait pouvoir être complétée dans le courant de la deuxième année suivant les travaux d'endiguement. Considérant les données

météorologiques disponibles, et les caractéristiques du bassin créé, il appert que l'inondation devrait être maintenue sur toute la superficie du bassin en tout temps de l'année.

- Tel que généralement admis, et tel qu'observé pour le bassin B89-3 jusqu'à ce jour, l'immersion ou l'inondation semble inhiber complètement le processus d'oxydation et de production d'acide dans les résidus miniers non oxydés, c'est-à-dire dans les résidus où ces processus n'ont pas déjà été amorcés.

- Pour les résidus oxydés, c'est-à-dire pour les résidus dans lesquels le processus d'oxydation a préalablement été enclenché, l'inondation n'apparait pas avoir inhibé le processus d'oxydation et de production d'acide. Cette constatation est basée essentiellement sur le fait que l'eau échantillonnée dans les résidus oxydés des bassins B89-1, B89-2 et B91 a maintenu depuis l'inondation de chacun des bassins un pH faible en dépit de la percolation dans le milieu d'une eau de pH relativement neutre. Par ailleurs, les pH près de la neutralité déterminés depuis l'inondation pour les couches sous-jacentes de résidus non oxydés, de tourbe et de till indiquent que la capacité de neutralisation effective de ces couches a contrebalancé la production de DMA pendant la durée de l'essai.

- L'écoulement vertical à travers la couche superficielle de résidus oxydés produit un lessivage important, et entraine dans les couches inférieures notamment des sulfates et des métaux lourds en solution.

- L'entrainement de particules fines dans le plan d'eau associé à l'effet combiné des vents et du soleil et le rejet de ces particules dans le système hydrique local constituent un risque de contamination, particulièrement pour les particules les plus fines

et dans les secteurs où la hauteur de la couverture d'eau est la moins grande. Ce risque pourra être d'autant plus important dans les périodes de l'année où le niveau de l'eau dans le bassin sera à la baisse.

À priori, compte tenu des données disponibles, il semble prématuré d'envisager à ce stade la solution de l'inondation du parc à résidus Solbec-Cupra comme méthode de réhabilitation. Le processus de production de DMA étant un processus complexe et évolutif, une connaissance plus approfondie des mécanismes physico-chimiques impliqués dans la production et la neutralisation du DMA semble requise. Si d'une part, il a été établi que le processus d'oxydation et de production de DMA n'a pas été complètement inhibé à court terme après l'inondation, il n'est toutefois pas exclu que l'inhibition du processus puisse s'effectuer progressivement à plus ou moins moyen terme, sans causer de torts majeurs ou irréparables à l'environnement. Dans ce contexte, le processus d'épuisement du potentiel de neutralisation s'opérant dans les couches de résidus non oxydés et de sols naturels devra être spécifiquement analysé. Le lessivage des sulfates et des métaux lourds devra également être analysé comme phénomène évolutif, c'est-à-dire comme un phénomène dont l'action dans le temps pourrait être soit continue ou progressive, soit ponctuelle ou récessive.

Il apparait judicieux de poursuivre le programme de suivi environnemental dans les bassins expérimentaux et les piézomètres installés depuis 1989 au site du parc à résidus Solbec-Cupra. Néanmoins, il apparait indispensable que des programmes d'études et de mesures soient également mis de l'avant en laboratoire et au terrain pour d'une part améliorer la compréhension des mécanismes physico-chimiques associés au DMA, et d'autre part établir les facteurs climatiques propres au site de Solbec-Cupra. L'installation d'une station météorologique pourrait être envisagée de façon à obtenir des données précises et spécifiques relatives notamment à la vitesse et à la

direction des vents et à l'évapotranspiration. L'étude détaillée de l'effet des vents et du soleil sur la remise en suspension des particules (modèle numérique ou modèle réduit) et la validation du modèle hydrogéologique lorsque requises à une étape ultérieure du projet, devront tenir compte de ces données météorologiques spécifiques et du concept préliminaire d'aménagement retenu (localisation et géométrie des digues, code d'inondation, etc.).

6.0 PERSONNEL

L'ensemble des travaux complétés dans le cadre de cette a été réalisé sous la supervision de Madame Colette Rainville, hydrogéologue, et Monsieur Patrick Wright, ingénieur géotechnicien. Monsieur Robert Morin, géologue de l'environnement a supervisé et coordonné spécifiquement toutes les activités reliées au suivi environnemental des bassins expérimentaux. En plus de Messieurs Wright et Morin (Monterval) ont principalement contribué à la réalisation de l'étude et/ou à la préparation du rapport Messieurs Daniel Chabot, hydrogéologue (Monterval), Claude Côté, ingénieur (LGL Environnement), Jean-Luc Allard, ingénieur (LGL Environnement) et Madame Lise Rény, chimiste (SNC-Lavalin).

MONTERVAL INC.,

ROBERT MORIN, géol., M.Sc.A
Géologue de l'environnement
/cl

PATRICK WRIGHT, ing., M.Sc.
Chargé de projet

APPENDICE 1

RAPPORTS DE FORAGE ET RÉSULTATS DES ESSAIS DE PERMÉABILITÉ

NOTES EXPLICATIVES SUR LES RAPPORTS DE SONDAGES

COUPE STRATIGRAPHIQUE

NIVEAU

Les niveaux des contacts des diverses couches sont rattachés au niveau de référence identifié à l'entête ou en bas de page du rapport de sondage.

DESCRIPTION DES SOLS ET DU ROC

Chaque couche du terrain est décrite selon la terminologie d'usage.
La proportion des éléments constituant les sols des diverses couches est donnée en accord avec les termes descriptifs énumérés plus bas.
La compacité relative des sols pulvérulents est définie par la valeur de l'indice de pénétration standard et la consistance des sols cohérents par la résistance au cisaillement à l'état non remanié.

CLASSIFICATION (CLASSIFICATION UNIFIEE ASTM D-2487-85)

Fines	Passant 80 µm
Sable	Tamis 5 mm au 80 µm
Gravier	Tamis 75 mm au 5 mm
Cailloux	Tamis 75 mm au 300 mm
Blocs	> 300 mm

TERMINOLOGIE (BUREAU)

"Traces"	< 10%
"Un peu"	10 - 20%
Adjectif (silteux, sablonneux)	20 - 35%
"et"	35 - 50%

COMPACITÉ RELATIVE

	INDICE DE PÉNÉTRATION STANDARD (COUPS N/0,3 m)
Très lâche	0 - 4
Lâche	4 - 10
Moyenne ou compacte	10 - 30
Dense	30 - 50
Très dense	> 50

CONSISTANCE DES SOLS COHERENTS

	RESISTANCE AU CISAILLEMENT (kPa)
Très molle	< 12
Molle	12 - 25
Moyenne ou ferme	25 - 50
Raide	50 - 100
Très raide	100 - 200
Dure	> 200

LIMITES DE CONSISTANCE

PLASTICITE	LIMITE LIQUIDE (%)
Faible	< 30
Moyenne	30 - 50
Élevée	> 50

INDICE DE LA QUALITÉ DE LA ROCHE (RQD)

RQD (%)	QUALIFICATIF
0 - 25	Mauvais
25 - 50	Médiocre
50 - 75	Moyen
75 - 90	Bon
90 - 100	Excellent

ESPACEMENT DES JOINTS

ESPACEMENT (cm)	TERME DESCRIPTIF
200 et plus	Très espacé
60 à 200	Espacé
20 à 60	Moyennement espacé
6 à 20	Rapproché
0 à 6	Très rapproché

ALTÉRATION

SAIN	: Aucun signe visible d'altération
PEU ALTÉRÉ	: Altération limitée aux surfaces des joints
ALTÉRÉ	: La masse rocheuse est altérée mais non friable
TRÈS ALTÉRÉ	: La masse rocheuse est friable

SYMBOLES DE LA STRATIGRAPHIE

PIÉZOMÈTRE

Cette colonne présente de façon schématique les niveaux d'installation des piézomètres, le niveau piézométrique ainsi que la date correspondante. Le niveau d'eau observé est aussi indiqué à l'entête du rapport de sondage, avec la date du relevé.

TYPE ET NUMÉRO

Le type d'échantillon est défini par l'abréviation indiquée ci-dessous et la numérotation est continue.

CF: Cuillère fendue std, 51 mm dia.
TS: Tube à paroi mince (Shelby), 73 mm dia.
EP: Échantillonneur à piston, 73 mm dia.
EL: Échantillon de lavage
TA: Échantillon à la tarière
CL: Cuillère latérale, 51 mm dia.
R : Échantillon remanié prélevé manuellement dans un sondage
I : Échantillon intact prélevé manuellement dans un sondage
BX, NX, etc.: Carottier diamanté

ÉTAT

L'état de l'échantillon est indiqué dans le rapport d'exploration selon le symbole ci-dessous.

ÉCHANTILLONS

Intact
Remanié
Perdu
Carotte

RÉCUPÉRATION

La récupération de l'échantillon est le rapport exprimé en pourcentage de la longueur de sol récupéré dans le carottier, après extraction, à la longueur d'enfoncement de celui-ci.

N ou RQD

Cette colonne présente les indices de pénétration standard "N" mesurés lors de l'échantillonnage, selon la norme BNQ 2501-148. L'indice RQD exprime en pourcentage, la fraction de la carotte rocheuse récupérée, constituée de fragments d'une longueur supérieure à 100 mm.

RE: Refus

LIMITE DE CONSISTANCE

Cette colonne présente graphiquement la teneur en eau naturelle (Wn), ainsi que les limites d'Atterberg (Wp et Wl) mesurées en laboratoire.

ESSAIS

Les dernières colonnes présentent les résultats des autres essais en laboratoire ou in situ, selon la légende apparaissant ci-après:

ESSAIS EN LABORATOIRE

AG : Analyse granulométrique
PBD: Passant au tamis 80 µm (%)
PV : Poids volumique (kN/m.cu.)
U : Compression simple (MPa)
Q : Triaxial N.C.N.D. (kPa)
CU : Cisaillement sur sol intact au cône suédois (kPa)
CUr: Cisaillement sur sol remanié au cône suédois (kPa)
C : Consolidation
Wp : Limite de plasticité (%)
Wl : Limite de liquidité (%)
Wn : Teneur en eau naturelle (%)
CPu: Cisaillement sur sol intact au scissomètre portatif (kPa)
° : Analyse chimique
k_q : Perméabilité au triaxial (cm/sec.)

ESSAIS IN SITU

N : Indice de pénétration std. (coups/0,3 m)
RQD : Indice de la qualité du roc
SU : Cisaillement sur sol intact au scissomètre Nilcon
SUr : Cisaillement sur sol remanié au scissomètre Nilcon
Pl : Pression limite pressiométrique (kPa)
EM : Module pressiométrique (kPa)
k : Perméabilité (cm/sec.)
PRES: Pression d'injection d'eau (kPa)
ABS : Absorption (l/min/m)
D : Indice de pénétration dynamique "Dz"

MONTERVAL

MONTERVAL

RAPPORT DE FORAGE

Forage No: F-1

Projet No: HC-153

Client: Ministère de l'Énergie et des ressources

Projet: Solbec-Cupra, Phase 3

Localisation: Stratford, Québec

Niveau de référence: Géodésique

Tubage: HW, NW

Foré du 91-07-22 au 91-07-25

Marteau: 63.5 Chute: 0.76

Prof nappe: le

Niveau (m) / Profondeur	Coupe stratigraphique – Description du sol ou du roc
328.38	
327.78 / 0.60	Résidus miniers oxydés: sable et silt à silt sableux, brun jaunâtre.
322.21 / 6.17	Résidus miniers: silt gris noir, traces de sable. Compacité très lâche à lâche.
320.63 / 7.75	Tourbe fibreuse brun noirâtre, renfermant quelques racines.
	Silt sableux à silt et sable gris, traces ou un peu d'argile localement, traces de gravier à graviers (till probable). Compacité lâche à moyenne.

Échantillons – Type et numéro	Récupération	N ou RQD	Essais laboratoire et in-situ
TS-1	82		P 80um = 44%
TS-2	0		
CF-3	17	7	Prof= 1.27 k = 8.30E-05
CF-4	8	5	
CF-5	8	4	
CF-6	8	1	Prof= 3.12 k = 3.40E-04
CF-7	6	1	
CF-8	8	3	Prof= 4.39 k = 2.35E-04
CF-9	0	4	
CF-10	20	1	Prof= 5.83 k = 1.70E-04
CF-11	71	8	
CF-12	100	9	Prof= 6.86 k = 2.30E-04
CF-13	71	7	
TS-14	50		Prof= 8.80 k = 1.00E-05 AG

Limite de consistance: wp wn wl (20. 40. 60.)

Pénétromètre: coups / 0.3 m (20. 40. 60. 80.)

Résistance au cisaillement, kPa (20. 40. 60. 80.)

Profondeur (m): 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9.

Notes:

Date: 91-11-06

MONTERVAL — RAPPORT DE FORAGE

Projet No: HC-153

Forage No: F-1

Client: Ministère de l'énergie et des ressources

Projet: Saibec-Cupre, Phase 3

Foré du 91-07-22 au 91-07-25

Localisation: Stratford, Québec

Niveau: 63.5 Chute: 0.76

Niveau de référence: Géodésique

Tubage: HW, NW

Prof nappe: le

PROFONDEUR (m)	COUPE STRATIGRAPHIQUE: NIVEAU (m) / PROFONDEUR	DESCRIPTION DU SOL OU DU ROC	STRATIGRAPHIE	PIÉZOMÈTRE	ÉCHANTILLONS: TYPE ET NUMÉRO	ÉTAT	RÉCUPÉRATION	n ou RQD	LIMITE DE CONSISTANCE: wp wn wl	ESSAIS LABORATOIRE ET IN-SITU	PÉNÉTROMÈTRE COUPS / 0.3 m	RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT, kPa
	516.38								20. 40. 60.		20. 40. 60. 80.	20. 40. 60. 80.
11.		Sol argileux à silt et sable gris, traces ou un peu d'argile localement, traces de gravier à graveleux (till probable). Compacité lâche à moyenne.			CF-15		8	7				
12.					CF-16		50	21		AG		
	515.58											
13.	12.80	Sable silteux avec un peu de gravier à graveleux, gris (till). Compacité dense à très dense.										
14.					CF-17		17	38				
15.												
16.												
17.					CF-18		0	Ro		N=4-50/08cm		
18.					RC-19		33					
					CF-20		100	Ro		N=32-50/08cm		
19.												

Dessin:

Date: 91-11-06

MONTERVAL

RAPPORT DE FORAGE

Projet No: MC-153

Forage No: F-1

Client: Ministère de l'énergie et des ressources | Projet: Sutton-Cupra, Phase 3 | Foré du 01-07-22 au 01-07-25

Localisation: Stratford, Québec | Marteau: 43.5 | Chute: 0.76

Niveau de référence: Géodésique | Tubage: HW, NW | Prof. rapp.: m

PROFONDEUR (m)	ÉLÉVATION (m) / PROFONDEUR	DESCRIPTION DU SOL OU DU ROC	STRATIGRAPHIE	PIÉZOMÈTRE	ÉCHANTILLONS: TYPE ET NUMÉRO	ÉCHANTILLONS: ÉTAT	ÉCHANTILLONS: RÉCUPÉRATION	ÉCHANTILLONS: n ou RQD	LIMITE DE CONSISTANCE: wp wn wl (20. 40. 60.)	ESSAIS LABORATOIRE ET IN-SITU	PÉNÉTROMÉTRIE COUPS / 0.3 m (20. 40. 60. 80.)	RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT, kPa (20. 40. 60. 80.)
	306.58											
	306.21											
	20.17	Roc: Roche métamorphique de type schiste à séricite, généralement gris blanchâtre, et localement gris verdâtre entre les profondeurs de 21.58 et 22.49m.			NQ-21		100	100				
21.		Roche généralement saine avec schistosité bien développée à environ 20 à 30 degrés p/r à l'axe de la carotte.			NQ-22		94	77				
22.		Présence de matériaux silto-argileux dans des joints aux profondeurs de:			NQ-23		100	45				
		-21.51m; épaisseur de 10mm selon la schistosité du roc, à 30 degrés p/r à l'axe .			NQ-24		100	97				
23.		-21.87m; épaisseur de 3 à 10mm selon la schistosité du roc, à 30 degrés p/r à l'axe .										
		-21.93m; épaisseur de 1 à 2mm selon un plan à 30 -35 degrés p/r à l'axe de la carotte, et recoupant la schistosité.			NQ-25		93	93				
24.					NQ-26		100	80				
25.					NQ-27		95	95				
26.	302.22											
	26.16	Fin du forage										
27.												
28.												
29.												

Date: 01-11-09

ESSAI DE PERMÉABILITÉ (H = VARIABLE)
FIOUT DE TUBAGE

Nom du projet:	Solbec-Cupra
Numéro de projet:	HG-153
Date de l'essai (année/mois/jour):	91/07/22
Nom de l'opérateur:	R.M.
Numéro du forage:	1
Numéro de l'essai:	1A
Long. totale tubage:	327.5 cm
Élév. charge max.:	260.5 cm
Prof. de l'essai:	127.0 cm

K = C / P

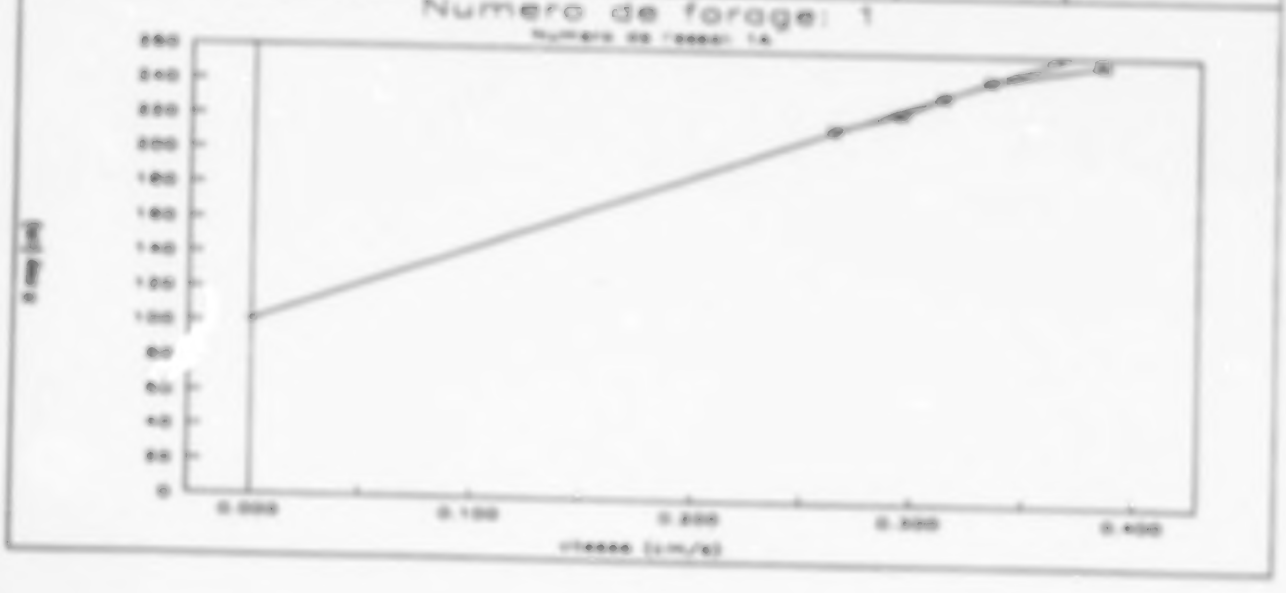
K = conductivité hydraulique : 8.3E-05 cm/sec.

P = Pente de la régression :	430.79	sec.
C = Coefficient de forme :	0.04	cm
H0 = Ordonnée à l'origine :	100.93	cm

Regression Output:

Constant	100.93
Std Err of Y Est	1.86
R Squared	0.99
No. of Observations	4.00
Degrees of Freedom	2.00
X Coefficient(s)	430.79
Std Err of Coef.	36.18

Numéro de lecture	Lecture (ml)	Temps (sec.)	Élév. (cm)	dT (sec)	S V (cm/sec.)	A Élév moy (cm)	B Élév moy (cm) (Régression)	Remarques
					0.400		273.24	
1	50	0	260.50		0.500		100.93	
2	40	26	250.50	26	0.385	255.50		Prof. du sol dans le tubage : 326.3 cm.
3	30	56	240.50	30	0.333	245.50		
4	20	88	230.50	32	0.313	235.50		
5	10	122	220.50	34	0.294	225.50		Légère fuite au
6	0	160	210.50	38	0.263	215.50		l'adaptateur mal
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								



ESSAI DE PERMÉABILITÉ (H = VARIABLE)

BOUT DE TUBAGE

K = C / P

K = conductivité hydraulique : 3.4E-04 cm/sec

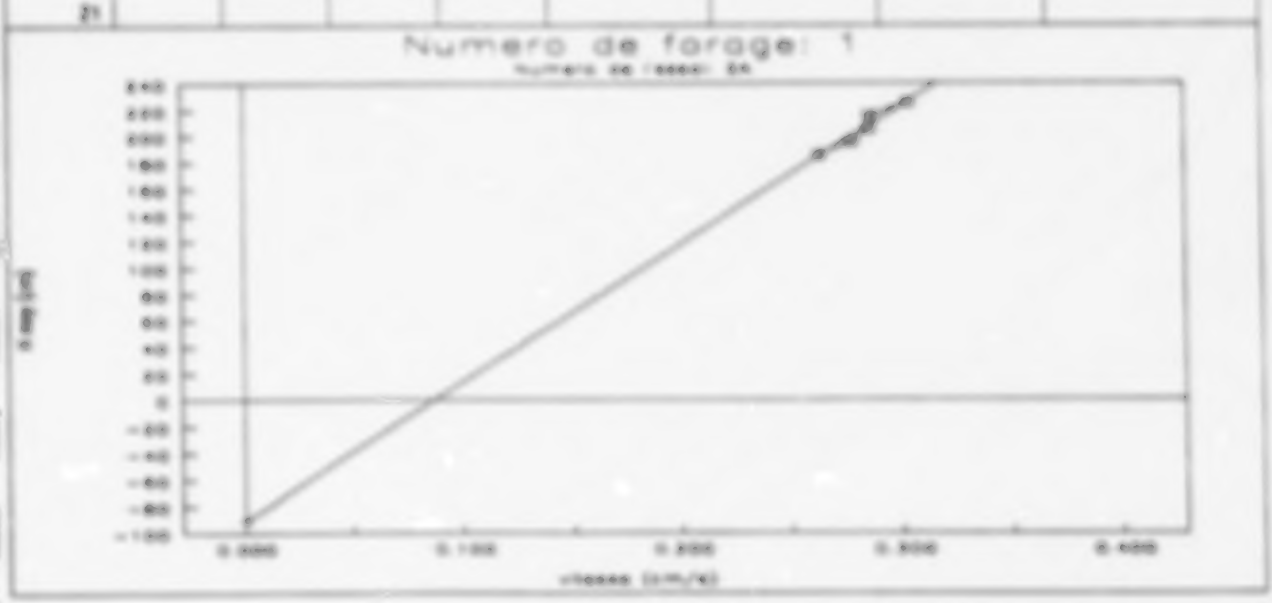
Nom du projet:	Soltex - Cupra
Numéro de projet:	HG-153
Date de l'essai (année(s))	91/07/22
Nom de l'opérateur:	R.M.
Numéro du forage:	1
Numéro de l'essai:	2A
Long. totale tubage	462.0 cm
Élév. charge max. (cm	230.5 cm
Prof. de l'essai:	312.4 cm

P = Perte de la régression : 1047.70 sec.
C = Coefficient de forme : 0.36 cm
H0 = Ordonnée à l'origine : -91.08 cm

Regression Output:

Constant	-91.08
Std Err of Y Est	5.21
R Squared	0.92
No. of Observations	5.00
Degrees of Freedom	3.00
X Coefficient(s)	1047.70
Std Err of Coef.	180.02

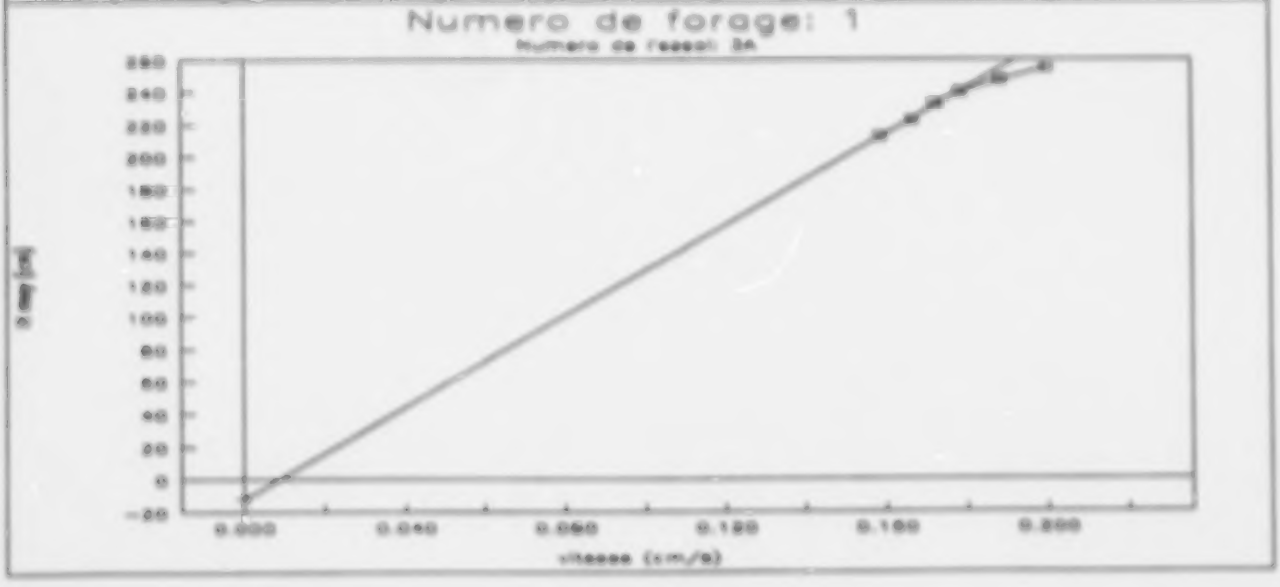
Numéro de lecture	Lecture (ml)	Temps (sec.)	Élév. (cm)	dT (sec)	X V (cm/sec.)	A Élév. moy (cm)	B Élév. moy (cm) (Régression)	Remarques
					0.410		338.47	
1	500	0	230.50		0.000		-91.08	Prof. du sol
2	400	33	220.50	33	0.303	225.50		dans le tubage :
3	300	68	210.50	35	0.296	215.50		462.0 cm.
4	200	103	200.50	35	0.286	205.50		
5	100	139	190.50	36	0.278	195.50		Pas de tuyau
6	0	177	180.50	38	0.263	185.50		crépiné.
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								



ESSAI DE PERMÉABILITÉ (H = VARIABLE)	K = C / P	
BOUT DE TUBAGE	K = conductivité hydraulique :	2.5E-04 cm/sec.

Nom du projet:	Solbec-Cupra		P = Pente de la régression :	1413.37 sec.
Numéro de projet:	HG-15)		C = Coefficient de forme :	0.36 cm
Date de l'essai (an/mois/jo):	91/07/23		H0 = Ordonnée à l'origine :	-12.12 cm
Nom de l'opérateur:	R.M.		Regression Output:	
Numéro du forage:	1		Constant	-12.12
Numéro de l'essai:	3A		Std Err of Y Est	0.98
Long. totale tubage:	636.9 cm		R Squared	1.00
Élév. charge max. (cm	257.5 cm		No. of Observations	4.00
Prof. de l'essai:	439.4 cm		Degrees of Freedom	2.00
			X Coefficient(s)	1413.37
			Std Err of Coef.	66.77

Numéro de lecture	Lecture (ml)	Temps (sec.)	Élév. (cm)	dT (sec)	X V (cm/sec.)	A Élév.moy.(cm)	B Élév.moy.(cm) (Régression)	Remarques
					0.230		312.96	
1	500	0	257.50		0.000		-12.12	Prof. du sol
2	450	25	252.50	25	0.200	255.00		dans le tubage :
3	350	78	242.50	53	0.189	247.50		639.4 cm.
4	300	106	237.50	28	0.179	240.00		
5	200	164	227.50	58	0.172	232.50		Fuite probable.
6	100	224	217.50	60	0.167	222.50		
7	0	287	207.50	63	0.159	212.50		
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								



ESSAI DE PERMÉABILITÉ (H = VARIABLE)
BOUT DE TUBAGE

Nom du projet:	Selbec-Cupra	
Numéro de projet:	HG-153	
Date de l'essai (an/mois/jo):	91/07/23	
Nom de l'opérateur:	R.M.	
Numéro du forage:	1	
Numéro de l'essai:	aa	
Long. totale tubage:	636.9	cm
Élév. charge max. (cm	257.5	cm
Prof. de l'essai:	439.4	cm

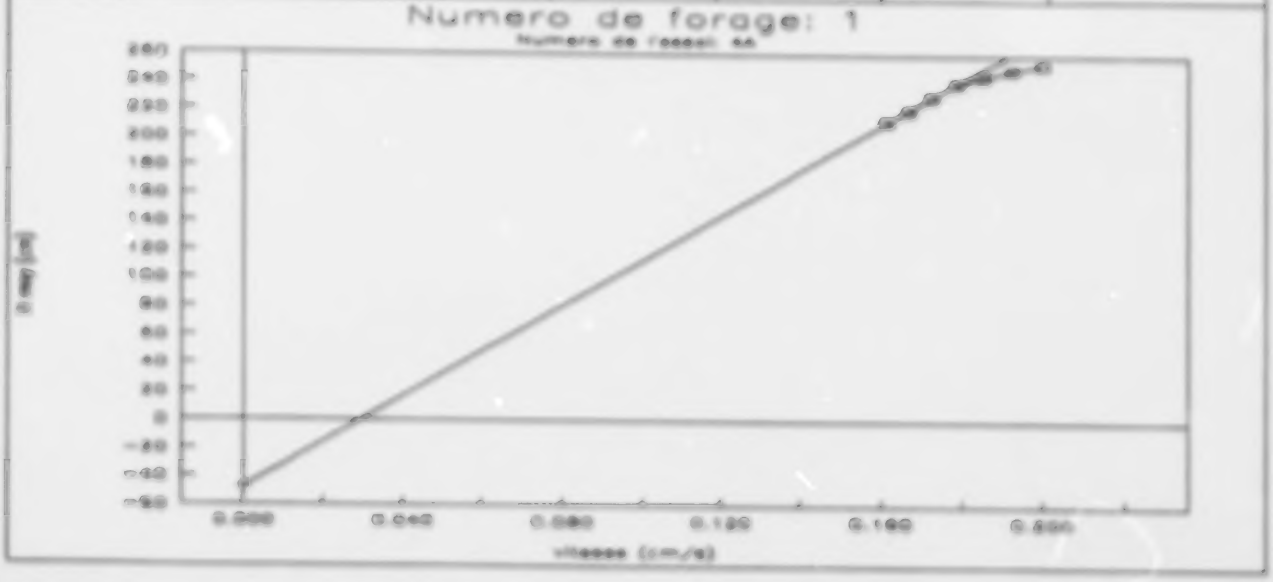
K = C / P

K = conductivité hydraulique :	2.2E-04	cm/sec.
P = Pente de la régression :	1807.60	sec.
C = Coefficient de forme :	0.38	cm
H0 = Ordonnée à l'origine :	-47.24	cm

Regression Output:

Constant	-47.24
Std Err of Y Est	0.60
R Squared	1.00
No. of Observations	4.00
Degrees of Freedom	2.00
X Coefficient(s)	1807.60
Std Err of Coef.	46.44

Numéro de lecture	Lecture (ml)	Temps (sec.)	Élév. (cm)	dT (sec)	X V (cm/sec.)	A Élév. moy (cm)	B Élév. moy (cm) (Régression)	Remarques
					0.230		522.51	
1	460	0	255.50		0.000		-47.24	Prof. du sol
2	450	15	252.50	15	0.200	254.00		dans le tubage :
3	400	41	247.50	26	0.192	250.00		638.4 cm
4	350	68	242.50	27	0.185	245.00		
5	300	96	237.50	28	0.179	240.00		Fuite probable.
6	150	183	322.50	87	0.172	230.00		
7	100	213	217.50	30	0.167	220.00		
8	0	275	207.50	62	0.161	212.50		
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								



ESSAI DE PERMEABILITÉ (H = VARIABLE)

BOUT DE TUBAGE

Nom du projet:	Soltec-Cupra
Numéro de projet:	HG-153
Date de l'essai (an/mois/jo):	91/07/23
Nom de l'opérateur:	R.M.
Numéro du forage:	1
Numéro de l'essai:	5
Long. totale tubage:	589.5 cm
Élév. charge max. (cm	280.5 cm
Prof. de l'essai:	569.0 cm

K = C / P

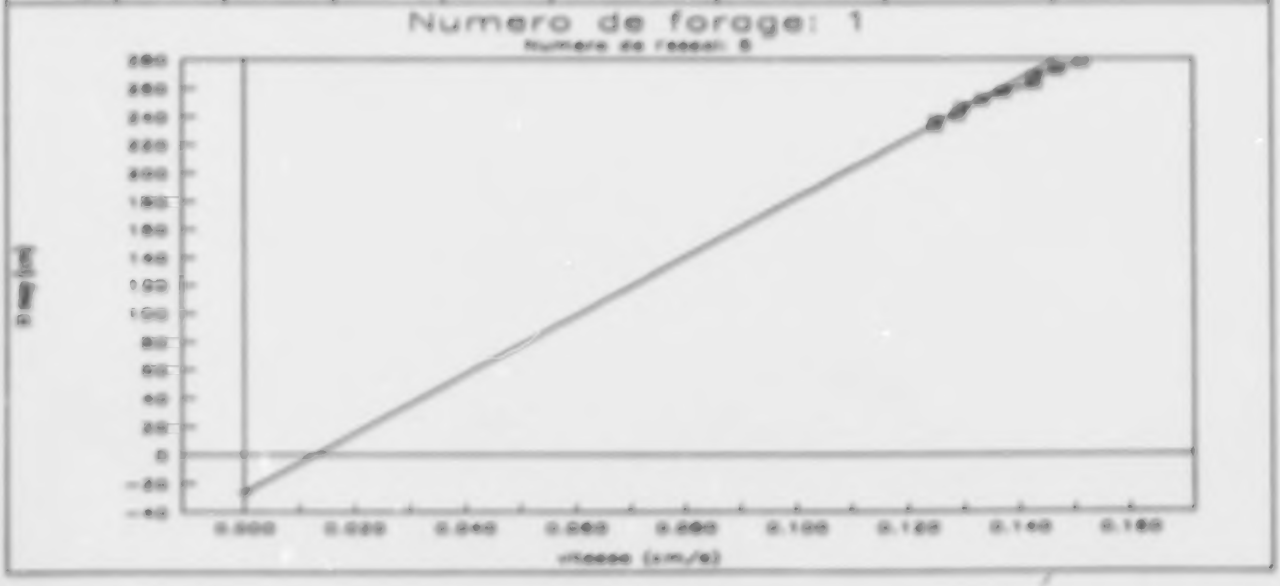
K = conductivité hydraulique : 1.7E-04 cm/sec.

P = Pente de la régression :	2068.06 sec.
C = Coefficient de forme :	0.36 cm
H0 = Ordonnée à l'origine :	-26.65 cm

Regression Output:

Constant	-26.65
Std Err of Y Est	2.93
R Squared	0.83
No. of Observations	4.00
Degrees of Freedom	2.00
X Coefficient(s)	2068.06
Std Err of Coef.	672.52

Numéro de lecture	Lecture (ml)	Temps (sec.)	Élév. (cm)	dT (sec)	X V (cm/sec.)	A Élév. moy (cm)	B Élév. moy (cm) (Régression)	Remarques
					0.170		328.52	
1	500	0	280.50		0.000		-26.65	Prof. du sol
2	450	33	275.50	33	0.152	278.00		dans le tubage :
3	400	67	270.50	34	0.147	273.00		583.2 cm.
4	350	102	265.50	35	0.143	268.00		
5	300	137	260.50	35	0.143	263.00		C = douteux.
6	250	188	253.50	51	0.137	257.00		
7	190	218	249.50	30	0.133	251.50		Fuite probable.
8	120	272	242.50	54	0.130	246.00		
9	60	303	236.50	31	0.129	240.50		
10	40	335	234.50	32	0.125	236.50		
11	0	367	230.50	32	0.125	232.50		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								



ESSAI DE PERMÉABILITÉ (H = VARIABLE)
BOUT DE TUBAGE

Nom du projet:	Solbec-Cupra
Numéro de projet:	HG-153
Date de l'essai (année/mois):	91/07/03
Nom de l'opérateur:	R.M.
Numéro du forage:	1
Numéro de l'essai:	6
Long. totale tubage:	0.0 cm
Élév. charge max. (cm	318.0 cm
Prof. de l'essai:	685.8 cm

K = C / P

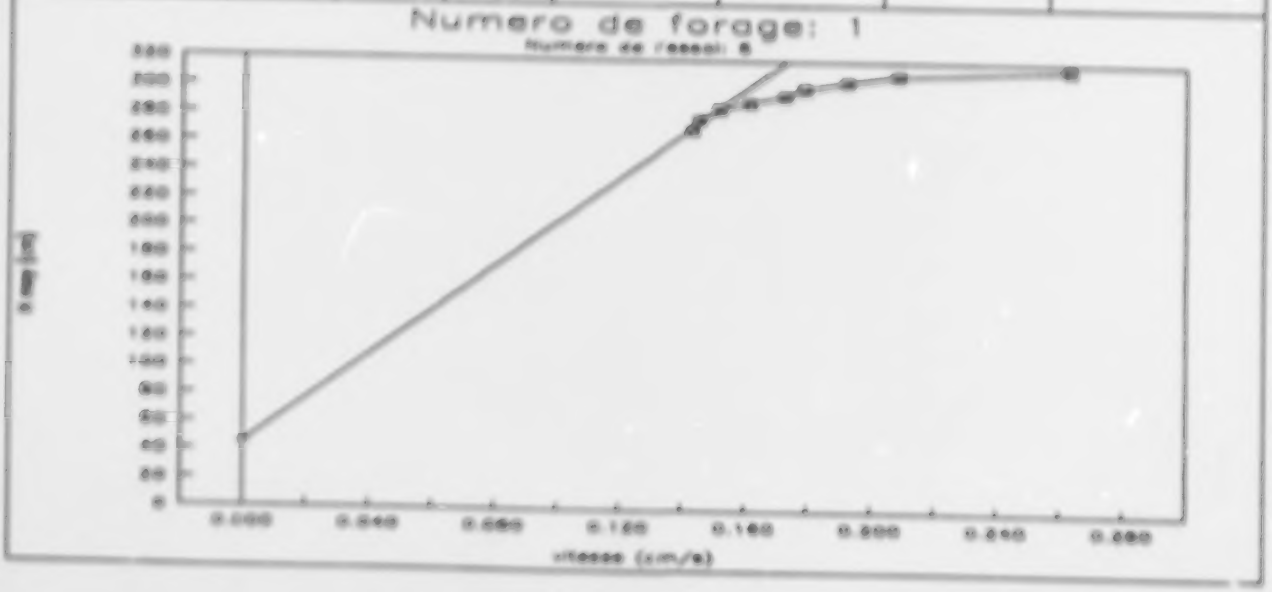
K = conductivité hydraulique : 2.3E-04 cm/sec.

P = Pente de la régression :	1588.38	sec.
C = Coefficient de forme :	0.36	cm
H0 = Ordonnée à l'origine :	45.41	cm

Regression Output:

Constant		45.41
Std Err of Y Est		3.06
R Squared		0.92
No. of Observations		3.00
Degrees of Freedom		1.00
X Coefficient(s)	1588.38	
Std Err of Coef.	478.46	

Numéro de lecture	Lecture (ml)	Temps (sec.)	Élév. (cm)	dT (sec)	X V (cm/sec.)	A Élév.moy (cm)	B Élév.moy (cm) (Régression)	Remarques
					0.280		490.15	
					0.000		45.41	
1	500	0	318.00					Prof. du sol dans le tubage : 686 cm.
2	450	19	313.00	19	0.263	315.50		
3	400	43	308.00	24	0.208	310.50		
4	350	69	303.00	26	0.192	305.50		
5	300	97	298.00	28	0.179	300.50		
6	250	126	293.00	29	0.172	295.50		
7	200	157	288.00	31	0.161	290.50		
8	150	190	283.00	33	0.152	285.50		
9	50	259	273.00	69	0.145	278.00		
10	0	294	268.00	35	0.143	270.50		
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								



ESSAI DE PERMÉABILITÉ (H = VARIABLE)
BOUT DE TUBAGE

Nom du projet:	Solbec-Cupra
Numéro de projet:	HG-153
Date de l'essai (an/mo/jo):	91/07/23
Nom de l'opérateur:	R.M.
Numéro du forage:	1
Numéro de l'essai:	7
Long. totale tubage:	931.2 cm
Élév. charge max. (cm	92.0 cm
Prof. de l'essai:	899.2 cm

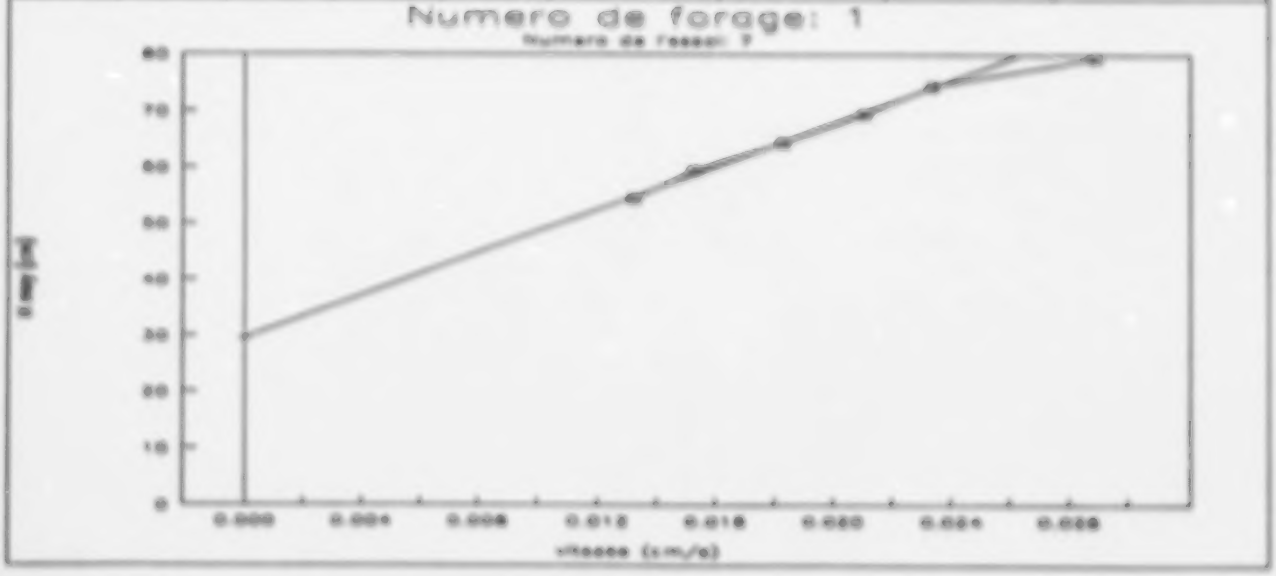
K = C / P

K = conductivité hydraulique :	1.9E-05	cm/sec.
P = Pente de la régression :	1910.62	sec.
C = Coefficient de forme :	0.04	cm
H0 = Ordonnée à l'origine :	29.61	cm

Regress. + Output:

Constant	29.61
Std Err of Y Est	0.53
R Squared	1.00
No. of Observations	5.00
Degrees of Freedom	3.00
X Coefficient(s)	1910.62
Std Err of Coef.	64.46

Numéro de lecture	Lecture (cm)	Temps (sec.)	Élév. (cm)	dT (sec)	X V (cm/sec.)	A Élév.moy (cm)	B Élév.moy (cm) (Régression)	Remarques
					0.031		88.84	
1	10	0	82.00		0.000		29.61	Prof. du sol
2	15	173	77.00	173	0.029	79.50		dans le tubage :
3	20	387	72.00	214	0.023	74.50		929 cm.
4	25	624	67.00	237	0.021	69.50		
5	30	897	62.00	273	0.018	64.50		Fuite probable.
6	35	1224	57.00	327	0.015	59.50		
7	40	1602	52.00	378	0.013	54.50		
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								



MONTERVAL

RAPPORT DE FORAGE

Forage No: F-2

Projet No: HG-153

Client: Ministère de l'Énergie et des ressources

Projet: Solbec-Cupra, Phase 3

Localisation: Stratford, Québec

Niveau de référence: Géodésique

Tubage: HW, NW

Foré du 01-07-26 au 01-07-26

Marteau: 63.5 Chute: 0.75

Prof nappe: m

PROFONDEUR (m)	NIVEAU (m) / PROFONDEUR	DESCRIPTION DU SOL OU DU ROC	STRATIGRAPHIE	PIÉZOMÈTRE	TYPE ET NUMÉRO	ÉTAT	RÉCUPÉRATION	N ou RQD	LIMITE DE CONSISTANCE wp wn wl (25. 30. 35.)	ESSAIS LABORATOIRE CT ên-SITU	PÉNÉTROMÈTRE COUPS / 0.3 m (20. 40. 60. 80.) / RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT, kPa (20. 40. 60. 80.)
	226.73										
		Résidus miniers: silt gris noir, traces de sable. Compacité très lâche à lâche.			CF-1		21	6	O	Wn = 29.4	
1.					CF-2		13	6			
					CF-3		8	6			
2.					CF-4		13	4			
3.					CF-5		13	2	O	Wn = 34.7	
					CF-6		13	3	O	Prof= 3.03 k = 2.10E-05 P 80um = 98% Wn = 29.3	
4.					CF-7		0	1			
	221.93				CF-8		33	5	O	Wn = 32.5	
5.	4.80	Tourbe fibreuse brun noirâtre, contenant quelques racines.			CF-9		33	7			
	221.09										
6.	5.64	Silt gris avec un peu d'argile ou argileux, traces ou un peu de sable.			CF-10		63	2	O	Prof= 5.49 k = 6.50E-05 P 80um = 80% Wn = 23.4	
	220.23										
7.	6.50	Silt gris avec un peu de sable ou sableux, traces de gravier. Compacité lâche.								Prof= 6.95 k = 4.40E-05	
					CF-11		63	6			
	218.81										
8.	7.92	Sable avec un peu de silt ou silteux gris, un peu de gravier (SM). Compacité moyenne.			NQ-12		0				
9.					CF-13		50	20			
	216.83	Roc: voir notes suivantes			NQ-14		80	25			

Note:

MONTERVAL

RAPPORT DE FORAGE

Page: 2 de 2

Projet No: HG-153

Forage No: F-2

Client: Ministère de l'énergie et des ressources

Projet: Solbec-Cupra, Phase 3

Foré du 91-07-28 au 91-07-28

Localisation: Stratford, Québec

Marteau: 63.5 Chute: 0.76

Niveau de référence: Géodésique

Tubage: HW, NW

Prof. rappor: le

PROFONDEUR (m)	NIVEAU (m) / PROFONDEUR	COUPE STRATIGRAPHIQUE – DESCRIPTION DU SOL OU DU ROC	STRATIGRAPHIE	PIEZOMETRE	ÉCHANTILLONS – TYPE ET NUMÉRO	ÉTAT	RÉCUPÉRATION	N ou RQD	LIMITE DE CONSISTANCE wp wn wl (25. 30. 35.)	ESSAIS LABORATOIRE ET IN-SITU	PÉNÉTROMÈTRE COUPS / 0.3 m (20. 40. 60. 80.) / RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT, kPa (20. 40. 60. 80.)
	316.73	Roc: Roche métamorphique de type schiste à séricite ou chlorite, gris à gris verdâtre. Roche généralement saine à peu altérée, avec schistosité bien développée à environ 10 à 20 degrés p/r à l'axe du carotte. Présence de joints recoupant la schistosité, à 50-55 et 35-40 degrés p/r à l'axe de la carotte.			NQ-15		100	93			
11.					NQ-16		100	89			
					NQ-17		89	89			
12.					NQ-18		100	100			
					NQ-19		100	100			
13.					NQ-20		100	81			
14.					NQ-21		100	74			
15.	311.57				NQ-22		85	74			
	15.16	FIN DU FORAGE									
16.											
17.											
18.											
19.											

Note:

Date: 91-11-06

ESSAI DE PERMÉABILITÉ (H = VARIABLE)
BOUT DE TUBAGE

Nom du projet:	Solbec-Cupra
Numéro de projet:	HG-153
Date de l'essai (an/mois/jo):	91/07/26
Nom de l'opérateur:	R.M.
Numéro du forage:	2
Numéro de l'essai:	1
Long. totale tubage:	384.3 cm
Élév. charge max.:	82.0 cm
Prof. de l'essai:	302.3 cm

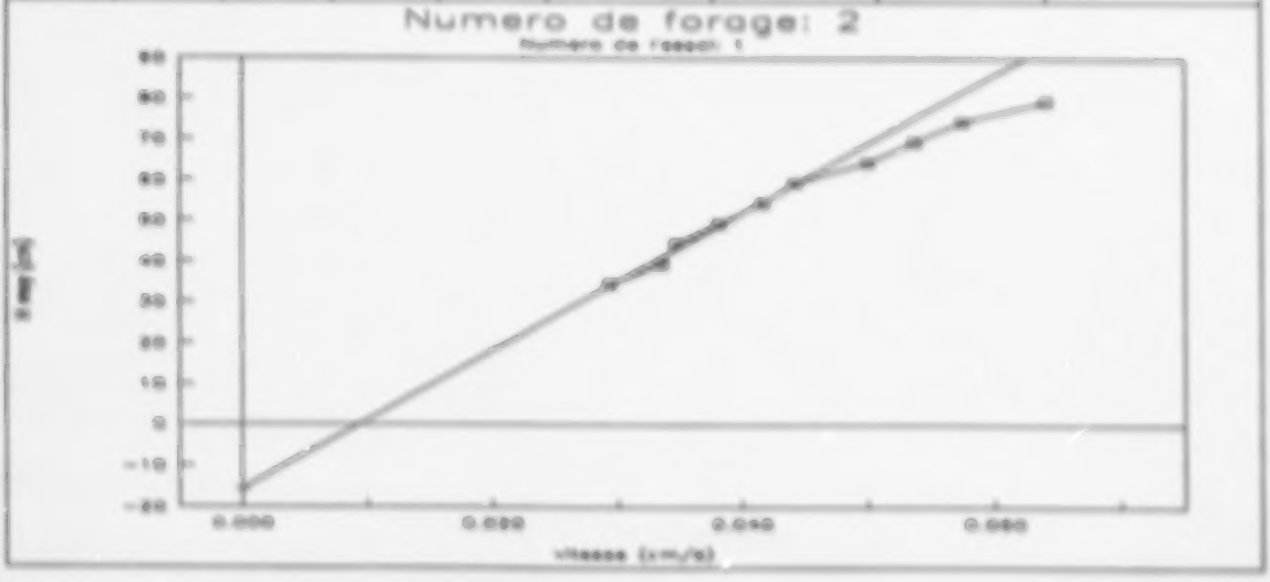
K = C / P

K = conductivité hydraulique :	2.1E-05	cm/sec.
P = Pente de la régression :	1696.00	sec.
C = Coefficient de forme :	0.04	cm
H0 = Ordonnée à l'origine :	-15.69	cm

Regression Output:

Constant	-15.69
Std Err of Y Est	1.14
R Squared	0.99
No. of Observations	6.00
Degrees of Freedom	4.00
X Coefficient(s)	1696.00
Std Err of Coef.	93.12

Numéro de lecture	Lecture (ml)	Temps (sec.)	Élév. (cm)	dT (sec)	X V (cm/sec.)	A Élév.moy.(cm)	B Élév.moy.(cm) (Régression)	Remarques
					0.071		104.73	
1	50	0	82.00		0.000		-15.69	Prof. du sol
2	45	78	77.00	78	0.064	79.50		dans le tubage :
3	40	165	72.00	87	0.057	74.50		382.0 cm.
4	35	258	67.00	93	0.054	69.50		
5	30	358	62.00	100	0.050	64.50		Fuite probable
6	25	471	57.00	113	0.044	59.50		au niveau du tubage
7	20	591	52.00	120	0.042	54.50		juste sous la surface
8	15	722	47.00	131	0.038	49.50		du sol.
9	10	866	42.00	144	0.035	44.50		
10	5	1015	37.00	149	0.034	39.50		
11	0	1185	32.00	170	0.029	34.50		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								



ESSAI DE PERMÉABILITÉ (H = VARIABLE)
BOUT DE TUBAGE

Nom du projet:	Solbec-Cupra
Numéro de projet:	HG-153
Date de l'essai (an/mois/jr):	91/07/26
Nom de l'opérateur:	R.M.
Numéro du forage:	2
Numéro de l'essai:	2
Long. totale tubage:	692.6 cm
Long. tubage hors-sol	144.0 cm
Prof. de l'essai:	548.6 cm

K = C / P

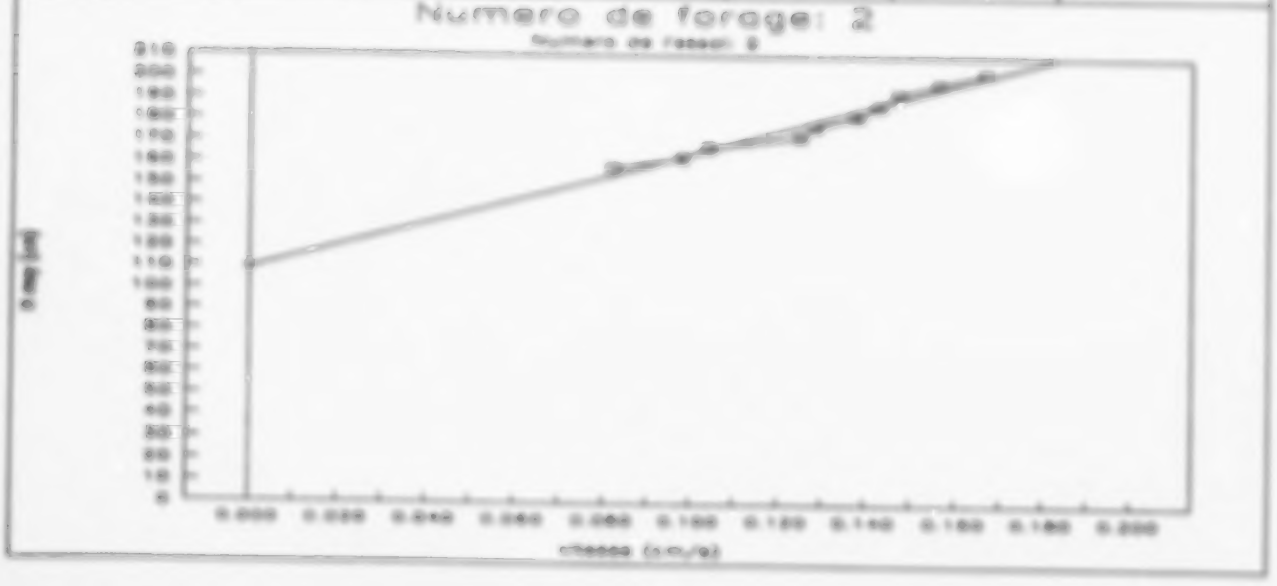
K = conductivité hydraulique : 6.5E-05 cm/sec.

P = Pente de la régression :	549.64 sec.
C = Coefficient de forme :	0.04 cm
H0 = Ordonnée à l'origine :	109.10 cm

Regression Output:

Constant	109.10
Std Err of Y Est	2.96
R Squared	0.97
No. of Observations	10.00
Degrees of Freedom	8.00
X Coefficient(s)	549.64
Std Err of Coef.	36.57

Numéro de lecture	Lecture (ml)	Temps (sec.)	Élév. (cm)	dT (sec)	X V (cm/sec.)	A Élév. moy (cm)	B Élév. moy (cm) (Régression)	Remarques
					0.210		224.52	
1	50	0	205.00		0.000		109.10	Prof. du est
2	45	30	200.00	30	0.167	202.50		dans le tubage :
3	40	62	195.00	32	0.156	197.50		692.6 cm.
4	35	96	190.00	34	0.147	192.50		
5	30	138	184.00	42	0.143	187.00		Fuite probable.
6	25	197	180.00	59	0.136	182.00		
7	20	256	175.00	59	0.128	177.50		
8	15	245	170.00	40	0.125	172.50		
9	10	294	165.00	49	0.104	167.50		
10	5	345	160.00	51	0.098	162.50		
11	0	408	155.00	61	0.082	157.50		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								



ESSAI DE PERMÉABILITÉ (H = VARIABLE)

BOUT DE TUBAGE

Nom du projet:	Selbaie-Cupra
Numéro de projet:	HQ-153
Date de l'essai (aa/mm/jj):	91/07/26
Nom de l'opérateur:	R.M.
Numéro du forage:	2
Numéro de l'essai:	3
Long. totale tubage:	938.0 cm
Élév. charge max.:	143.0 cm
Prof. de l'essai:	696.0 cm

K = C / P

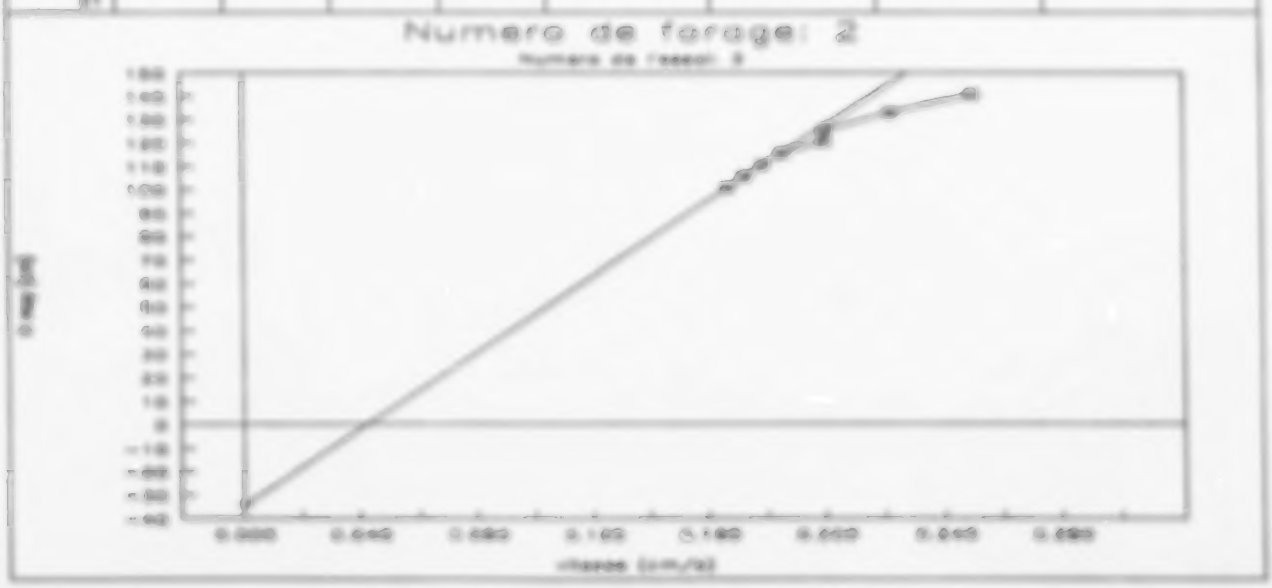
K = conductivité hydraulique : 4.4E-05 cm/sec.

P = Pente de la régression :	839.40	sec.
C = Coefficient de forme :	0.04	cm
H0 = Ordonnée à l'origine :	-34.22	cm

Regression Output:

Constant	-34.22
Std Err of Y Est	5.25
R Squared	1.00
No. of Observations	4.00
Degrees of Freedom	2.00
X Coefficient(s)	839.40
Std Err of Coef.	17.98

Numéro de lecture	Lecture (ml)	Temps (sec.)	Élév. (cm)	dT (sec)	X V (cm/sec.)	A Élév. moy (cm)	B Élév. moy (cm) (Régression)	Remarques
					0.310		216.70	
1	50	0	143.00		0.000		-34.22	Prof. du est
2	45	20	138.00	20	0.250	140.50		dans le tubage :
3	35	66	128.00	46	0.239	133.00		934.0 cm.
4	30	80	123.00	25	0.200	125.50		
5	25	115	118.00	35	0.200	185.50		Fuite probable.
6	20	142	113.00	27	0.185	115.50		
7	15	170	108.00	28	0.179	110.50		
8	10	199	103.00	29	0.172	105.50		
9	0	229	98.00	30	0.167	100.50		
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								



MONTERVAL

RAPPORT DE FORAGE

Projet No: HG-153

Forage No: F-5

Client: Ministère de l'énergie et des ressources

Projet: Solbec-Cupra, Phase 3

Localisation: Stratford, Québec

Niveau de référence: Géodésique

Tubage: HW, NW

Foré du 91-07-30 au 91-10-01

Marteau: 63.5 Chute: 0.76

Prof nappe: m

Profondeur (m)	Niveau (m) / Profondeur	Description du sol ou du roc	Échantillon type et numéro	Récupération	N ou RQD	Essais laboratoire et in-situ
	227.05					
	226.47 / 0.60	Résidus miniers poudre: Silt avec des traces de sable à sableux, brun jaunâtre. Compacité lâche à très lâche.	CF-1	50	4	p 80um = 72%
1		Résidus miniers silt gris pâle, traces de sable. Compacité lâche à très lâche.	CF-2	21	3	
			CF-3	13	3	
2			CF-4	0	3	
3			CF-5	13	2	Prof= 2.59 k = 3.30E-04
			CF-6	25	2	P 80um = 65%
4			CF-7	21	4	Prof= 3.81 k = 7.40E-05
5			CF-8	83	1	
			CF-9	29	5	Prof= 5.11 k = 8.70E-03 P 80um = 62%
6	220.80 / 6.25		CF-10	17	4	
		Tourbe fibreuse brun noirâtre, renfermant quelques racines.	CF-11	71	10	
7			CF-12	0	8	Prof= 6.86 k = 2.80E-04
8	219.05 / 8.00		CF-13	88	7	
		Silt argileux avec un peu d'argile ou argileux, traces de sable.	CF-14	50	3	
9	218.05 / 9.00	Sable silteux à silt sableux, gris un peu de gravier à graveleux (SM). Compacité lâche à moyenne.	CF-15	4	14	Prof= 8.11 k = 7.40E-05

Notes:

Date: 91-11-05

MONTERVAL

RAPPORT DE FORAGE

Projet No. HE-153

Forage No: F-3

Client: Ministère de l'Énergie et des ressources — Projet: Sullivan-Cygne, Phase 1 — Fait du 91-07-30 au 91-08-01

Localisation: Stratford, Québec — Marteau: 63.5 — Chute: 0.76

Niveau de référence: Géodésique — Tubage: HW, NW — Prof. nappe: m

PROFONDEUR (m)	NIVEAU (m) / PROFONDEUR	DESCRIPTION DU SOL OU DU ROC	TYPE ET NUMÉRO	RÉCUPÉRATION	N ou RQD	ESSAIS LABORATOIRE
	317.00					
		Sable silteux à peu graveleux, gris, un peu de gravier à graveleux (SM). Compacité lâche à moyenne.				
11.			CF-16	100	5	AG
12.			CF-17	8	15	
13.	313.86 / 13.21	Roc: Roche métamorphique de type schiste à séricite ou chlorite, généralement gris beige à gris verdâtre, et localement rouillée entre les profondeurs de 15,28 et 15,60m. Roche généralement très altérée jusqu'à la profondeur de 17,80m. Zones de roc fortement oxydé brun rouille, et friable entre les profondeurs de 15,00 et 15,75m, et de 17,12 et 17,80m. Roche faiblement altérée à altérée à partir de la profondeur de 17,80. Schistosité bien développée à environ 10-20 degrés p/r à l'axe de la carotte.	CF-18	75	Ro	N=35-47-50/10
14.			NQ-19	24	14	
15.			NQ-20	100	0	
			NQ-21	88	40	
16.			NQ-22	38	0	
			NQ-23	100	67	
			NQ-24	100	31	
17.			NQ-25	14	0	
			NQ-26	73	0	
18.			NQ-27	100	63	
	308.70 / 18.29	FIN DU FORAGE	NQ-28			
19.						

LIMITE DE CONSISTANCE w_p w w_l — 20 40 60

PÉNÉTROMÈTRE COUPS / 0.3 m — 20 40 60 80

RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT, kPa — 20 40 60 80

Notes:

ESSAI DE PERMÉABILITÉ (H = VARIABLE)
BOUT DE TUBAGE

Nom du projet	Sobec-Cupro	
Numéro de projet	HG-153	
Date de l'essai (an/m/j)	91/07/30	
Nom de l'opérateur	R.M.	
Numéro du forage	3	
Numéro de l'essai	1	
Long. totale tubage	388.1	cm
Élév. charge max. (cm)	129.0	cm
Prof. de l'essai	259.1	cm

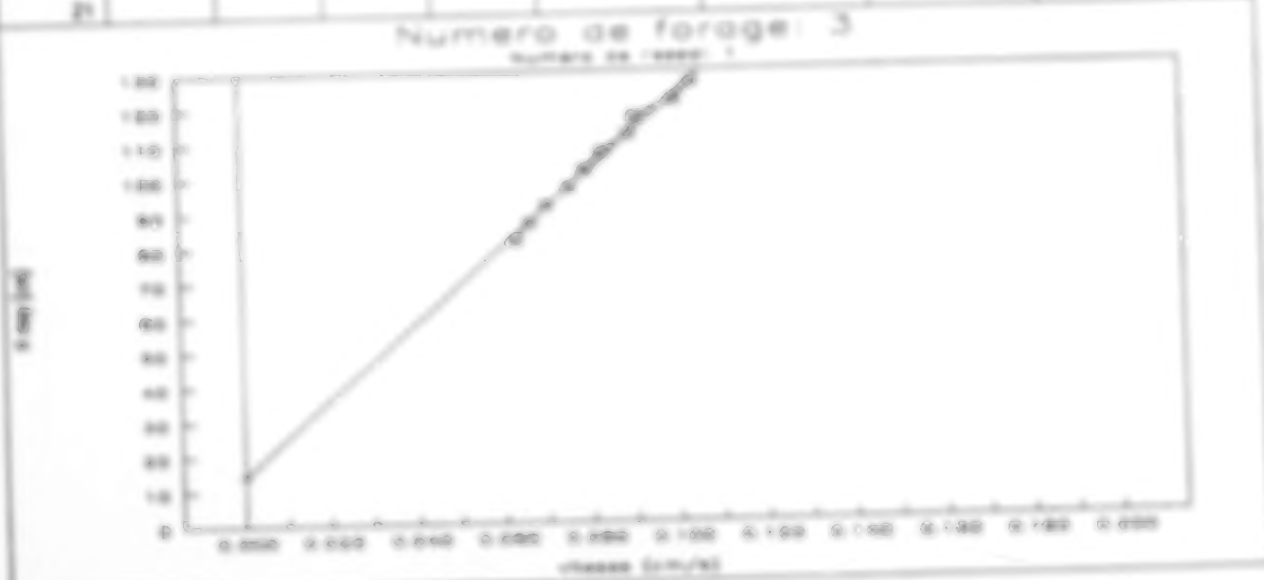
K = C / P

K = conductivité hydraulique :	5.3E-04	cm/sec.
P = Pente de la régression :	1091.53	sec.
C = Coefficient de forme :	0.58	cm
H0 = Ordonnée à l'origine :	14.15	cm

Regression Output

Constant		14.15
Std Err of Y Est		1.01
R Squared		0.99
No. of Observations		10.00
Degrees of Freedom		8.00
X Coefficient(s)	1091.53	
Std Err of Coef.	38.95	

Numéro de lecture	Lecture (ml)	Temps (sec.)	Élév. (cm)	dT (sec)	X V (cm/sec.)	A Élév. moy (cm)	B Élév. moy (cm) (Régression)	Remarques
					0.210		245.97	
					0.000		14.15	Prof. du sol
1	500	0	129.00		0.104	126.50		dans le tubage :
2	450	48	124.00	48	0.100	121.50		388.0 cm.
3	400	98	119.00	50	0.091	116.50		
4	350	153	114.00	55	0.089	111.50		Calcul après
5	300	209	109.00	56	0.083	106.50		fracturation
6	250	269	104.00	60	0.079	101.50		hydraulique probable.
7	200	332	99.00	63	0.076	96.50		
8	150	398	94.00	66	0.070	91.50		
9	100	469	89.00	71	0.067	86.50		
10	50	544	84.00	75	0.063	81.50		
11	0	623	79.00	79				
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								



ESSAI DE PERMÉABILITÉ (H = VARIABLE)
BOUT DE TUBAGE

Nom du projet	Sobec - Cupro
Numéro de projet	HQ - 153
Date de l'essai (an/mo/jo)	91/07/03
Nom de l'opérateur	R.M.
Numéro du forage	3
Numéro de l'essai	2
Long. totale tubage	538.0 cm
Élév. charge max. (cm)	157.0 cm
Prof. de l'essai	381.0 cm

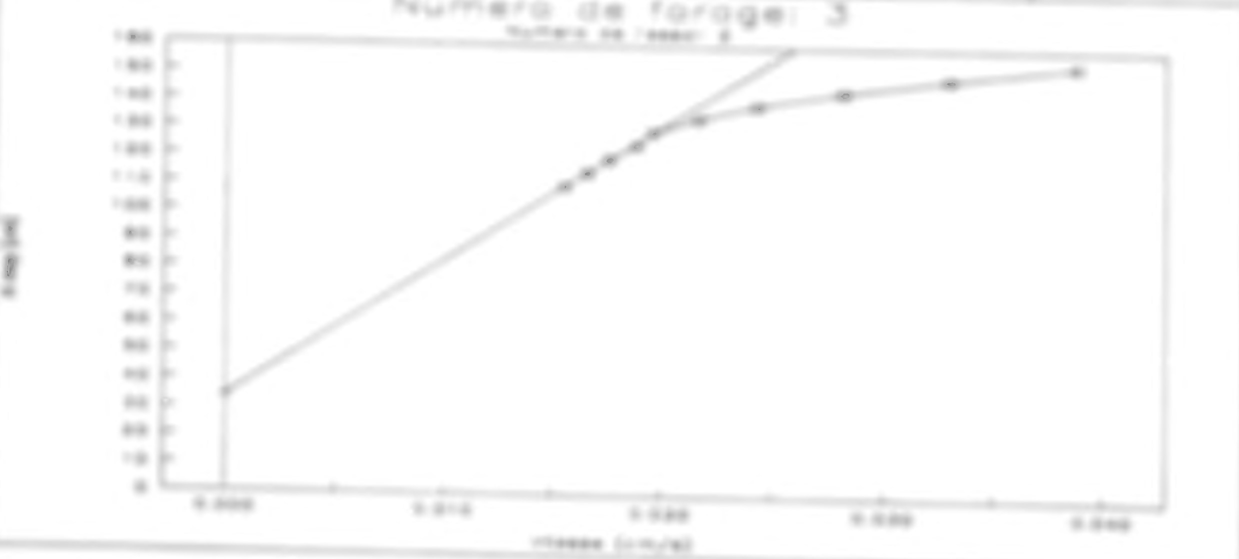
K = C / P

K = conductivité hydraulique :	7.4E-05	cm/sec
P = Pente de la régression :	4657.46	sec
C = Coefficient de forme :	0.36	cm
H0 = Ordonnée à l'origine :	34.05	cm

Regression Output

Constant	34.05
Std Err of Y Est	0.81
R Squared	1.00
No. of Observations	5.00
Degrees of Freedom	3.00
X Coefficient(s)	4657.46
Std Err of Coef	108.20

Numéro de lecture	Lecture (ml)	Temps (sec.)	Élév. (cm)	dT (sec)	X V (cm/sec.)	A Élév. moy (cm)	B Élév. moy (cm) (Régression)	Remarques
					0.041		233.21	
1	500	0	157.00		0.000		34.05	
2	450	120	152.00	129	0.039	154.50		Prof. du sol
3	400	281	147.00	152	0.033	149.50		dans le tubage :
4	350	413	142.00	176	0.029	144.50		539.2 cm
5	300	553	137.00	206	0.024	139.50		
6	250	896	132.00	231	0.022	134.50		Calcul après
7	200	1152	127.00	256	0.020	129.50		fracturation
8	150	1418	122.00	288	0.019	124.50		hydraulique.
9	100	1703	117.00	295	0.018	119.50		
10	50	2005	112.00	302	0.017	114.50		
11	0	2327	107.00	322	0.016	109.50		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								



ESSAI DE PERMÉABILITÉ (H = VARIABLE)
BOUT DE TUBAGE

Nom du projet:	Solbec-Cupra
Numéro de projet:	HG-153
Date de l'essai (an/mo/jo):	91/07/31
Nom de l'opérateur:	R.M.
Numéro du forage:	3
Numéro de l'essai:	3
Long. totale tubage:	693.0 cm
Élév. charge max.:	182.5 cm
Prof. de l'essai:	510.5 cm

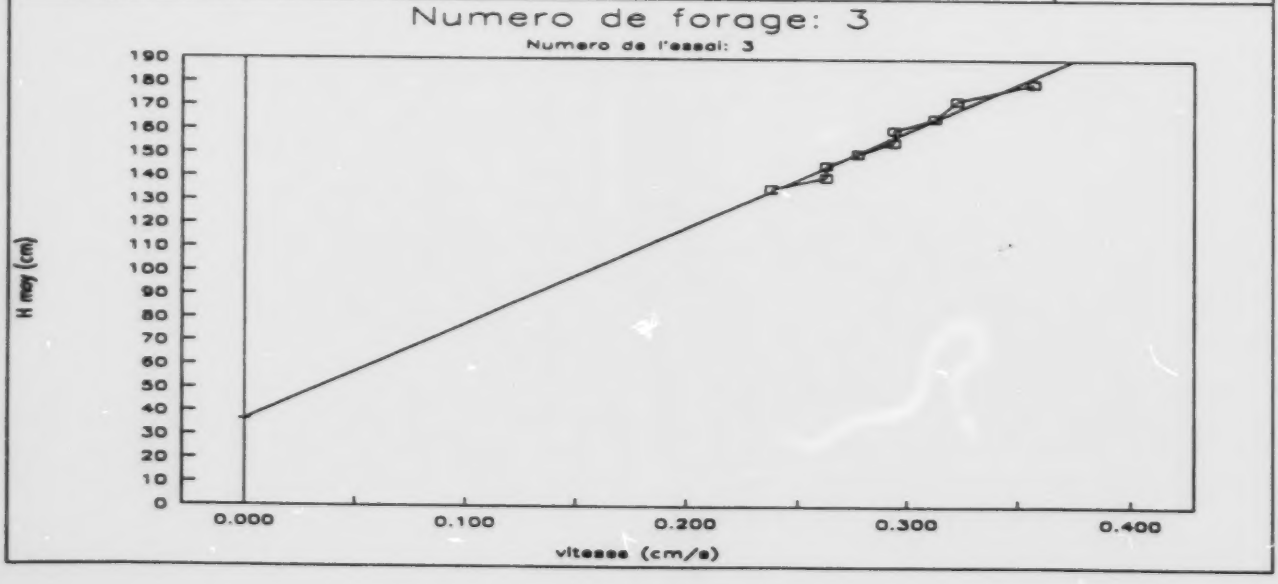
K = C / P

K = conductivité hydraulique :	8.7E-05	cm/sec.
P = Pente de la régression :	409.97	sec.
C = Coefficient de forme :	0.04	cm
H0 = Ordonnée à l'origine :	36.37	cm

Regression Output:

Constant		36.37
Std Err of Y Est		2.83
R Squared		0.97
No. of Observations		9.00
Degrees of Freedom		7.00
X Coefficient(s)	409.97	
Std Err of Coef.	27.76	

Numéro de lecture	Lecture (ml)	Temps (sec.)	Élév. (cm)	dT (sec)	X V (cm/sec.)	A Élév.moy.(cm)	B Élév.moy.(cm) (Régression)	Remarques
					0.410		204.45	
1	50	0	182.50		0.000		36.37	Prof. du sol
2	45	14	177.50	14	0.357	180.00		dans le tubage :
3	35	45	167.50	31	0.323	172.50		480.0 cm.
4	30	61	162.50	16	0.313	165.00		
5	25	78	157.50	17	0.294	160.00		Calcul avant
6	20	95	152.50	17	0.294	155.00		fracturation
7	15	113	147.50	18	0.278	150.00		hydraulique probable
8	10	132	142.50	19	0.263	145.00		et/ou fuite.
9	5	151	137.50	19	0.263	140.00		
10	0	172	132.50	21	0.238	135.00		
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								



ESSAI DE PERMÉABILITÉ (H = VARIABLE)
BOUT DE TUBAGE

Nom du projet:	Solbec-Cupra
Numéro de projet:	HG-153
Date de l'essai (an/mo/jo):	91/07/31
Nom de l'opérateur:	R.M.
Numéro du forage:	3
Numéro de l'essai:	4
Long. totale tubage:	845.3 cm
Élév. charge max. (cm	159.5 cm
Prof. de l'essai:	685.8 cm

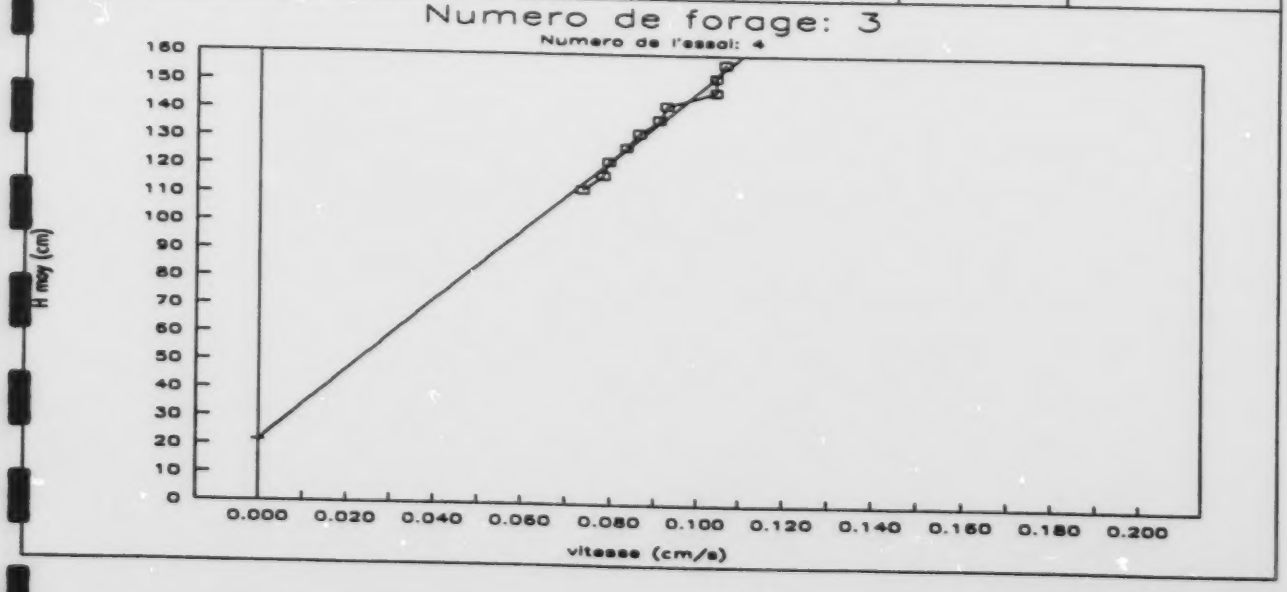
K = C / P

K = conductivité hydraulique :	2.8E-04 cm/sec.
P = Pente de la régression :	1257.44 sec.
C = Coefficient de forme :	0.36 cm
H0 = Ordonnée à l'origine :	21.48 cm

Regression Output:

Constant	21.48
Std Err of Y Est	2.92
R Squared	0.97
No. of Observations	10.00
Degrees of Freedom	8.00
X Coefficient(s)	1257.44
Std Err of Coef.	82.10

Numéro de lecture	Lecture (ml)	Temps (sec.)	Élév. (cm)	dT (sec)	X V (cm/sec.)	A Élév.moy.(cm)	B Élév.moy.(cm) (Régression)	Remarques
					0.210		285.55	
1	500	0	159.50		0.000		21.48	Prof. au sol
2	450	47	154.50	47	0.106	157.00		dans le tubage :
3	400	95	149.50	48	0.104	152.00		845.0 cm.
4	350	143	144.50	48	0.104	147.00		
5	300	197	139.50	54	0.093	142.00		Fuite probable.
6	250	252	134.50	55	0.091	137.00		
7	200	310	129.50	58	0.086	132.00		
8	150	370	124.50	60	0.083	127.00		
9	100	433	119.50	63	0.079	122.00		
10	50	497	114.50	64	0.078	117.00		
11	0	565	109.50	68	0.074	112.00		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								



ESSAI DE PERMÉABILITÉ (H = VARIABLE)
BOUT DE TUBAGE

Nom du projet:	Solbec-Cupra
Numéro de projet:	HG-153
Date de l'essai (an/mo/jo):	91/07/31
Nom de l'opérateur:	R.M.
Numéro du forage:	3
Numéro de l'essai:	5
Long. totale tubage:	909.3 cm
Long. tubage hors-sol	-2.0 cm
Prof. de l'essai:	911.3 cm

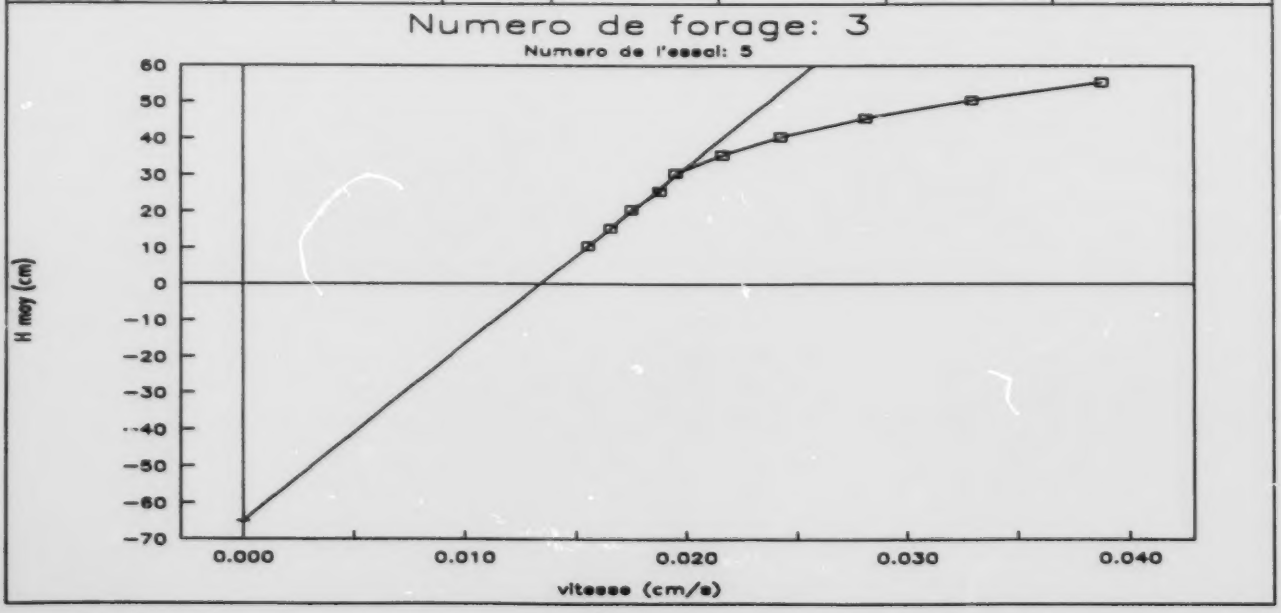
K = C / P

K = conductivité hydraulique :	7.4E-05	cm/sec.
P = Pente de la régression :	4857.46	sec.
C = Coefficient de forme :	0.36	cm
H0 = Ordonnée à l'origine :	-64.95	cm

Regression Output:

Constant	-64.95
Std Err of Y Est	0.61
R Squared	1.00
No. of Observations	5.00
Degrees of Freedom	3.00
X Coefficient(s)	4857.46
Std Err of Coef.	188.20

Numéro de lecture	Lecture (ml)	Temps (sec.)	Élév. (cm)	dT (sec)	X V (cm/sec.)	A Élév.moy.(cm)	B Élév.moy.(cm) (Régression)	Remarques
					0.041		134.21	
1	500	0	58.00		0.000		-64.95	Prof. du sol
2	450	129	53.00	129	0.039	55.50		dans le tubage :
3	400	281	48.00	152	0.033	50.50		906.8 cm.
4	350	459	43.00	178	0.028	45.50		
5	300	665	38.00	206	0.024	40.50		
6	250	896	33.00	231	0.022	35.50		
7	200	1152	28.00	256	0.020	30.50		
8	150	1418	23.00	266	0.019	25.50		
9	100	1703	18.00	285	0.018	20.50		
10	50	2005	13.00	302	0.017	15.50		
11	0	2327	8.00	322	0.016	10.50		
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								



MONTERVAL

RAPPORT DE FORAGE

Projet No: HG-153

Forage No: F-4

Client: Ministère de l'énergie et des ressources

Projet: Solbec-Cupra, Phase 3

Foré du 91-08-01 au 91-08-02

Localisation: Stratford, Québec

Marteau: 63.5 Chute: 0.76

Niveau de référence: Géodésique

Tubage: HW, NW

Prof nappe: le

PROFONDEUR (m)	COUPE STRATIGRAPHIQUE: NIVEAU (m) / PROFONDEUR	DESCRIPTION DU SOL OU DU ROC	STRATIGRAPHIE	PIEZOMETRE	ECHANTILLONS: TYPE ET NUMERO	ETAT	RECUPERATION	N ou RQD	LIMITE DE CONSISTANCE wp wn wl (20. 40. 60.)	ESSAIS LABORATOIRE ET IN-SITU	PENETROMETRE COUPS / 0.3 m (20. 40. 60. 80.) / RESISTANCE AU CISAILLEMENT, kPa (20. 40. 60. 80.)
	327.05	Résidus miniers.		91-08-08 91-08-08							
1.											
2.											
3.											
4.											
5.											
6.	320.80										
	6.25	Tourbe.									
7.											
8.	319.05										
	8.00	Till probable et till.									
9.											

Note:

Date: 91-11-04

MONTERVAL

RAPPORT DE FORAGE

Projet No: HG-153

Forage No: F-4

Client: Ministère de l'énergie et des ressources

Projet: Solbec-Cupra, Phase 3

Foré du 91-08-01 au 91-08-02

Localisation: Stratford, Québec

Marteau: 63.5 Chute: 0.76

Niveau de référence: Géodésique

Tubage: HW, NW

Prof nappe: le

PROFONDEUR (m)	COUPE STRATIGRAPHIQUE: NIVEAU (m) / PROFONDEUR	DESCRIPTION DU SOL OU DU ROC	STRATIGRAPHIE	PIEZOMETRE	ECHANTILLONS: TYPE ET NUMERO	ETAT	RECUPERATION	N ou RQD	LIMITE DE CONSISTANCE wp wn wl 20. 40. 60.	ESSAIS LABORATOIRE ET IN-SITU	PENETROMETRE COUPS / 0.3 m 20. 40. 60. 80. / RESISTANCE AU CISAILLEMENT, kPa 20. 40. 60. 80.
11.	317.05										
12.	314.86										
	12.19	Roc:									
13.	313.43										
	13.62	FIN DU FORAGE									
14.											
15.											
16.											
17.											
18.											
19.											

Note:

Date: 91-11-04

APPENDICE 2

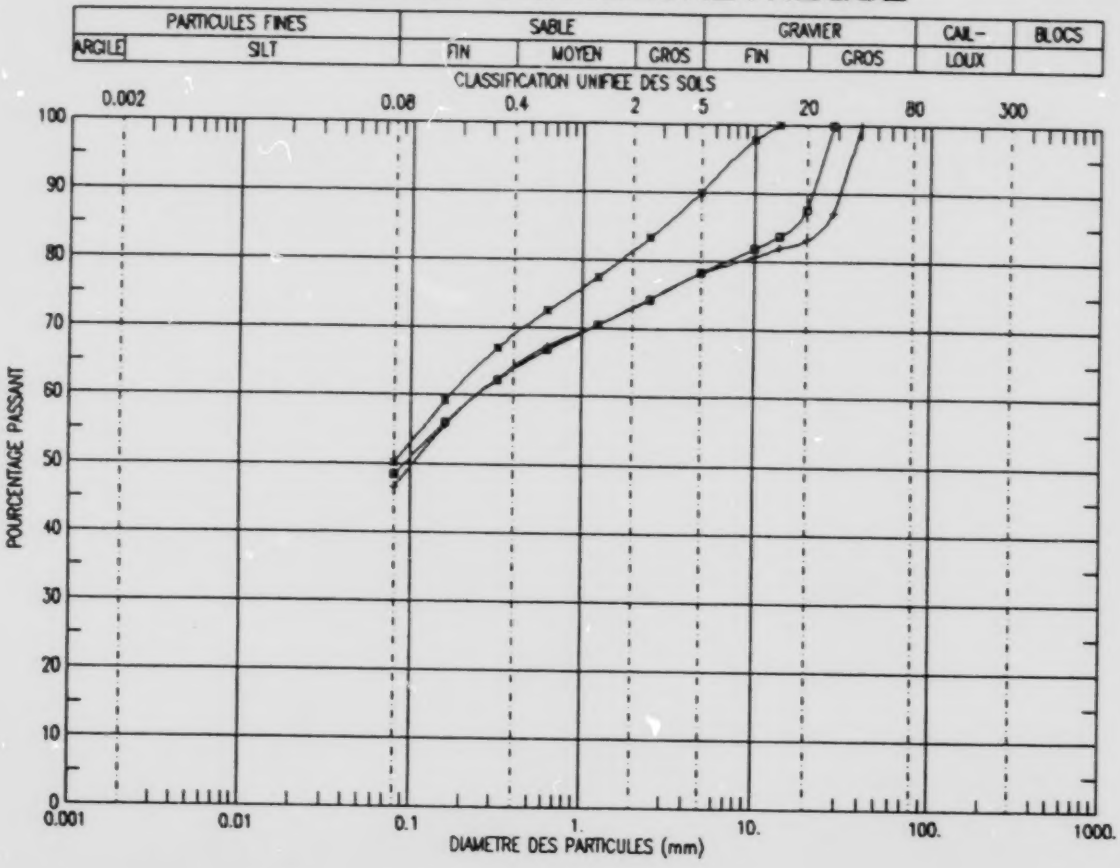
RÉSULTATS DES ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES

MONTERVAL

PROJET No: MG-153 | PROJET: Solbec-

CLIENT: M.E.R. | LOCALISATION: Stratford, Quebec

ANALYSE GRANULOMETRIQUE



	PARTICULES FINES (%)	SABLE (%)	GRAVIER (%)	CAIL- (%)	BLOCS (%)
◆	46.5	31.7	21.8	0.0	0.0
■	50.1	39.9	10.0	0.0	0.0
▫	48.4	30.0	21.6	0.0	0.0

	20 mm	5 mm	2 mm	0.40 mm	0.08 mm	D10	D30	D60	Cu	Cc
◆	83.2	78.2	73.2	64.1	46.5	-	-	0.248	-	-
■	100.0	90.0	81.5	68.8	50.1	-	-	0.172	-	-
▫	87.6	78.4	73.1	63.7	48.4	-	-	0.25	-	-

	SONDAGE	ECH.	PROF.(m)	DESCRIPTION	Dr	WN (%)	WL (%)	WP (%)
◆	F-1	TS-14	9.300	Silt sablonneux et graveleux		11.059		
■	F-1	CF-16	12.320	Silt et sable, un peu de gravier		11.300		
▫	F-3	CF-16	10.970	Silt sablonneux et graveleux		13.502		

Date: 91-09-10

APPENDICE 3

RAPPORT DE SIAL GÉOSCIENCES INC.

MONTERVAL INC.

LEVE DE SISMIQUE REFRACTION

PARC A RESIDUS MINIERS

SOLBEC-CUPRA

Rapport final

Présenté par:

SIAL GEOSCIENCES INC.

Août 1991

SIAL

Table des matières

		Page
I	INTRODUCTION.....	1
II	AMPLEUR DES TRAVAUX.....	2
2.1	Localisation des travaux.....	2
2.2	Nature et durée des travaux.....	2
2.3	Logistique.....	2
2.4	Personnel.....	2
2.5	Instrumentation.....	4
2.6	Ouverture des lignes et arpentage.....	4
2.7	Procédure sur le terrain.....	5
2.8	Interprétation des levés sismiques.....	6
	2.8.1 Interprétation préliminaire des levés....	6
	2.8.2 Enregistrement sismique.....	6
	2.8.3 Tracé des dromochroniques.....	6
	2.8.4 Méthodes d'interprétation.....	9
	2.8.5 Influence de la forme du marqueur rapide.	12
	2.8.6 Cas de disparition de marqueur.....	12
	2.8.7 Cas d'un terrain lent intercalé (inversion de vitesse) ($v_r > v_o > v_1$).....	16
III	RESULTATS DES TRAVAUX.....	18
3.1	Présentation des résultats sismiques.....	18
3.2	Vitesse des différents marqueurs.....	18
3.3	Ligne LS-1.....	18
	3.3.1 Recouvrement de surface	18
	3.3.2 Deuxième couche de dépôts meubles	20
	3.3.3 Toit du socle.....	20

Table des matières (suite)

Page

3.4 Ligne LS-2..... 21

3.4.1 Couche superficielle (dépôts meubles).... 21
3.4.2 Couche profonde (dépôts meubles)..... 22
3.4.3 Toit du socle..... 22

3.5 Ligne LS-3..... 23

3.5.1 Première couche (dépôts superficiels).... 23
3.5.2 Deuxième couche (dépôts en profondeur)... 23
3.5.3 Socle..... 23

IV CONCLUSIONS & RECOMMANDATIONS..... 25

Liste des figures et Annexe

Figure 1: Localisation des lignes sur le site des travaux 3
Figure 2: Principe d'installation d'un profil..... 8
Figure 3: Principe de la méthode des distances critiques 11
Figure 4: Principe de la méthode de Hawkins..... 13
Figure 5: Lissage sismique des structures anguleuse..... 14
Figure 6: Disparition de marqueur..... 15
Figure 7: Phénomène d'inversion de vitesse 17
Figure 8: Classification des matériaux par leurs vitesses sismiques..... 19

I INTRODUCTION

Au début de juillet 1991, MON-TER-VAL retenait les services de SIAL GEOSCIENCES INC. pour effectuer un relevé de sismique réfraction sur une propriété située dans la municipalité de STRATFORD.

L'objectif de l'étude consistait à déterminer l'épaisseur et la nature des couches de dépôts meubles, d'établir le profil du toit du socle ainsi que la qualité du roc dans le but de caractériser les matériaux sur lesquels reposaient les dépôts d'un parc à résidus miniers. La méthode proposée et utilisée pour atteindre cet objectif a été la sismique réfraction.

II AMPLEUR DES TRAVAUX

2.1 Localisation des travaux

La zone des travaux est située à l'intérieur des limites de la municipalité de Stratford. Plus précisément, les travaux se sont déroulés au site du parc à résidus miniers de l'ancienne mine SULBEC-CUPRA (voir figure 1).

2.2 Nature et durée des travaux

Trois lignes (voir figure 1) furent installées au moyen de vingt-cinq (25) profils de 12 géophones espacés de 75 m pour un total de 1915 mètres. La 1ère ligne (LS-1) est d'orientation générale N-S et traverse le parc à résidus miniers dans le sens de la longueur. La seconde ligne (LS-2) est d'orientation E-W et recoupe la ligne LS-1 à la hauteur du chaînage 0+242 N tandis que la troisième ligne (LS-3), d'orientation aussi E-W, recoupe la ligne LS-1 au chaînage 0+180 S.

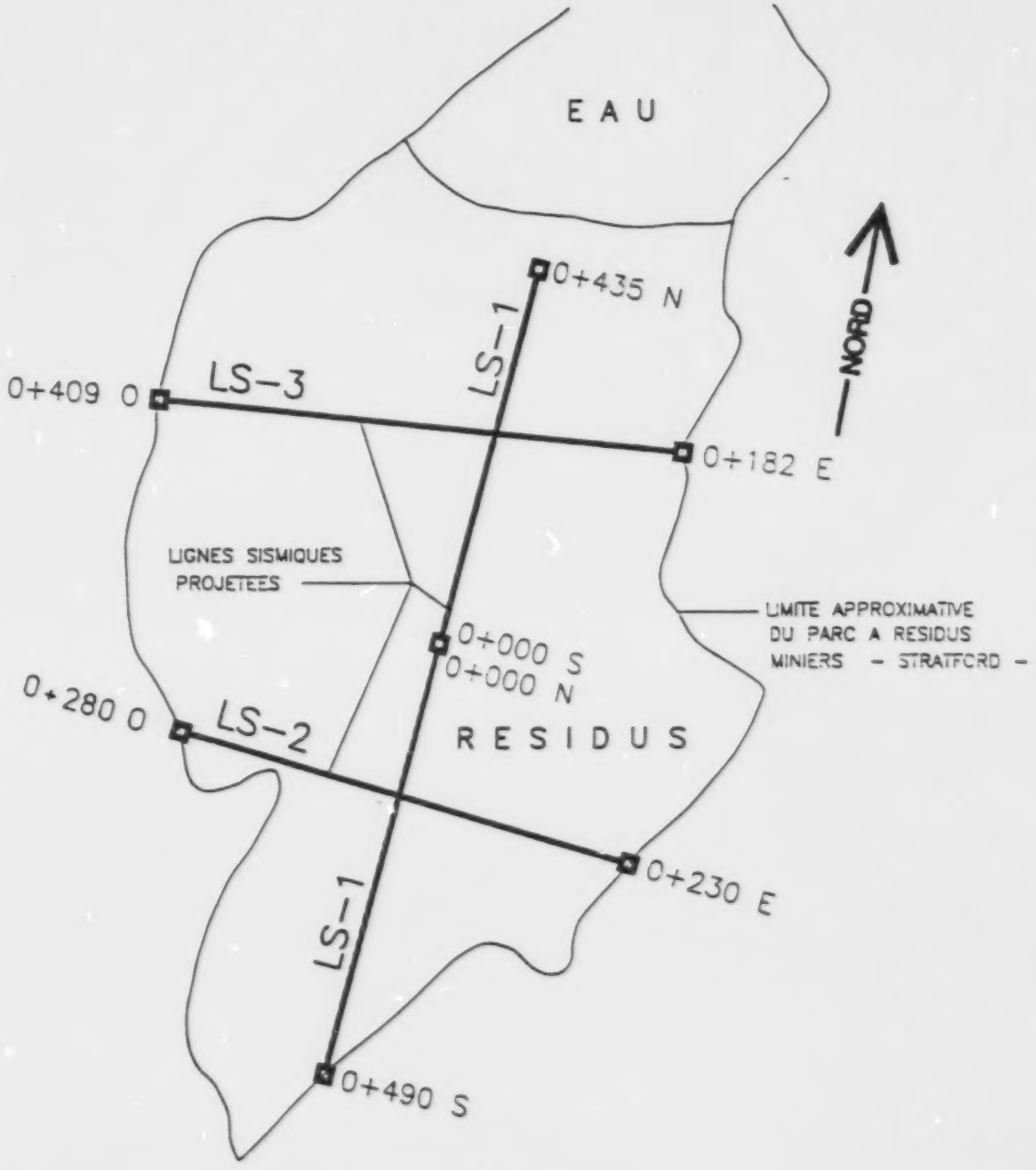
La mobilisation fut effectuée le 13/7/91. Le levé fut complété durant les 14, 15 et 16 juillet 1991, jour de démobilisation de l'équipe.

2.3 Logistique

Toute la logistique du projet fut à la charge de SIAL GEOSCIENCES INC, y compris les explosifs et leur entreposage.

2.4 Personnel

Le chef d'équipe était M. John Gilliat, ing, qui fut également l'opérateur du sismographe. Le bout-de-feu fut M. Dominique Béland assisté d'un aide-technique Hossein. L'interprétation fut conjointment effectuée par M. Mouhamed Moussaoui, ing., et Gérard Tessier, géophysicien.



Localisation des lignes sur le site des travaux

SIAL Géosciences inc.	TITRE : LOCALISATION LIMITE APPOXIMATIVE DU PARC A RESIDUS - STRATFORD -
CLIENT : MONTERVAL	DESSINÉ : A. SAYEGH VÉRIFIÉ : F. DESCHAMPS VÉRIFIÉ : G. TESSIER APPROUVÉ : A. MOUSAOUI
SITE : STRATFORD - SOLBEC-CUPRA	ÉCHELLE: (SI) 0 5 15 25 1/~75 DATE 14-08-1991 91-EG-118 SIAL

2.5 Instrumentation

Le matériel utilisé durant le relevé était:

- 1 appareil ABEM, TRIO SX-12 avec enregistrement analogue;
- 1 boîte de tir ABEM;
- De la dynamite Forcite 1 x 8, 75% comme source d'énergie, avec détonateurs électriques;
- 3 flûtes de 14 conducteurs (longueur 221 m);
- trente (30) géophones 14 Hz, 280 ohms;
- 800 mètres de câble de tir;
- ainsi que les appareils électroniques, papier électrosensible, connexions et autres pièces de rechange nécessaires à la bonne marche des instruments.

2.6 Ouverture des lignes et arpentage

Ce travail a été la responsabilité de MONTERVAL. Le chaînage était en tout temps contrôlé par l'équipe de SIAL et ce, en fonction de l'espacement requis pour les géophones soit à tous les 7,5 mètres.

Les données de nivellement ont été fournies par MONTERVAL.

2.7 Procédure sur le terrain

Chaque profil sismique était généralement composé de 12 géophones (voir figure 1). Les géophones étaient plantés fermement de 10 à 70 cm sous la surface du sol, selon la nature de celui-ci. Chaque profil fut exploité au moyen de sept (7) tirs (voir figure 2).

Un tir éloigné fut placé de 60 à 100 mètres de part et d'autre de chacune des extrémités du profil représenté par les 24 géophones, de façon à mieux évaluer la vitesse du toit du socle, en éliminant les effets de surface. Un tir fut placé de 3 à 5 mètres de part et d'autre de chacune des extrémités du profil. Ceux-ci constituent les tirs proches, direct et inverse, qui permettent d'évaluer les vitesses des différentes couches dans les deux directions, et ainsi d'interpréter la géométrie des contacts entre les différentes couches. Un (1) tir fut placé entre les géophones nos 6 et 7, ce qui permet de contrôler principalement la continuité ou les changements dans les valeurs de vitesse des couches de surface.

La source d'énergie utilisée fut la dynamite forcite 1x8 75%, qui était enfouie 0,3 à 1,0 m sous la surface du sol.

2.8 Interprétation des levés sismiques

2.8.1 Interprétation préliminaire des levés

Une interprétation préliminaire du levé fut fournie le 13 août 1991.

2.8.2 Enregistrement sismique

Chaque enregistrement est habillé d'une cartouche contenant toutes les informations relatives aux paramètres de tir. Les temps correspondant aux trajets sismiques mesurés sur l'enregistrement ont été transcrits sur le film en regard de chaque trace. La qualité des enregistrements a fluctué de bonne à excellente.

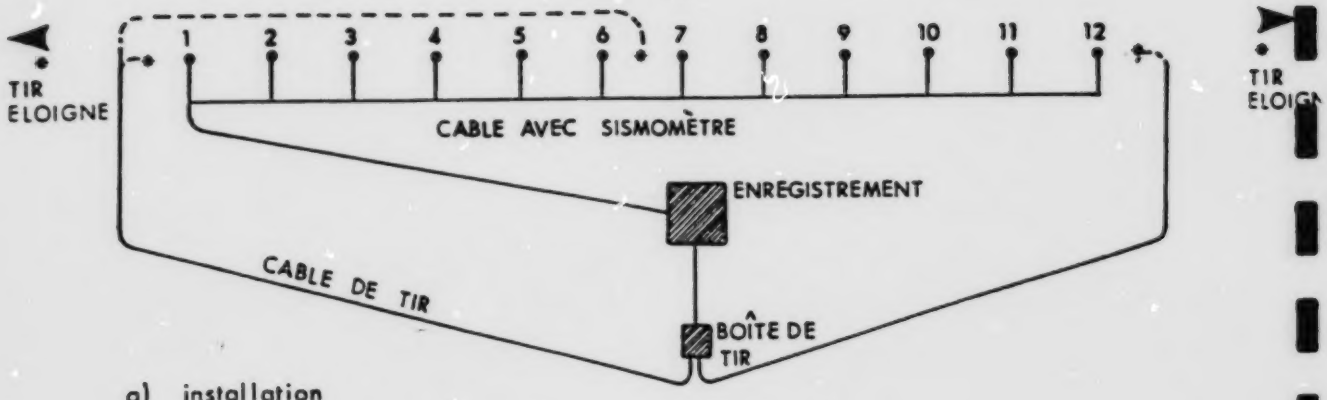
2.8.3 Tracé des dromochroniques

Chaque tir sismique fournit un enregistrement des temps d'arrivée de l'onde à chacun des géophones. Les temps correspondant aux premières arrivées réfractées ont été reportés en fonction de la distance sur papier graphique. On obtient ainsi les dromochroniques.

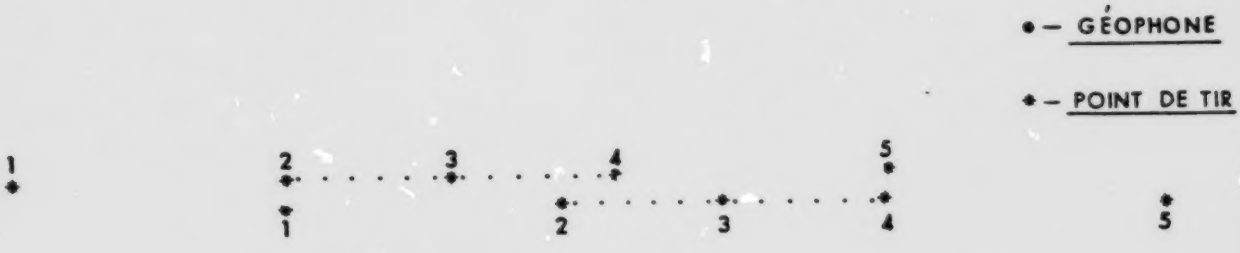
Les temps d'arrivée sont mesurés avec une précision de 0,5 à 1 milliseconde et les intercepts calculés avec une précision de 1 milliseconde.

Par exemple, avec une vitesse dans la couche superficielle de surface allant de 400 à 700 m/s, l'erreur sur les profondeurs calculées est de l'ordre de 0,5 m (10% d'erreur maximum); elle augmente jusqu'à 3 m dans le cas de la seconde couche qui atteint jusqu'à 30 mètres d'épaisseur.

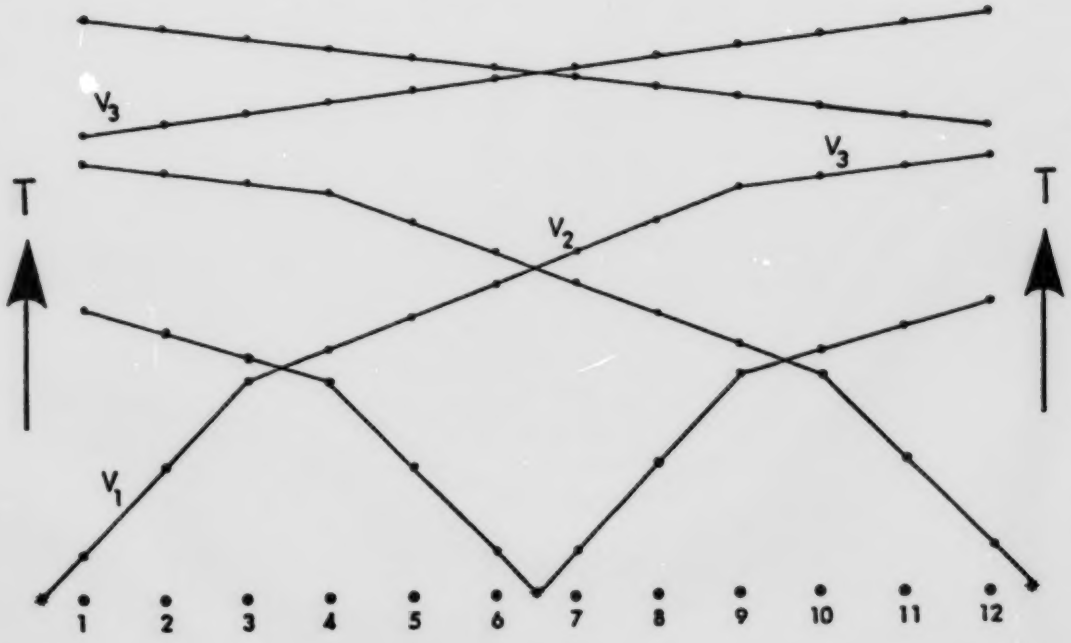
La précision dépend aussi de l'espacement des géophones comparé à la profondeur du marqueur à étudier et des brusques variations dans le relief du socle. Elle peut se dégrader dans le cas où une inversion de vitesse est observée.



a) installation



b) superposition de profils successifs



c) tracé des dromochroniques d'un profil

PRINCIPE D'INSTALLATION D'UN PROFIL

SIAL

FIGURE 2

Une première analyse des dromochroniques a permis d'identifier les marqueurs, de vérifier les temps de retour inverse sur les tirs réciproques, de déterminer les vitesses de l'onde sismique dans les différentes couches de terrain et les temps intercepts pour chaque point de tir à l'aplomb de chaque position de géophone.

Les vitesses du marqueur profond (socle) ont été déterminées à partir des dromochroniques provenant des tirs éloignés, en reportant en fonction de la distance la demi-différence entre l'arrivée directe et l'arrivée inverse à la même trace.

Le marqueur profond a pu être suivi dans la majorité des cas sous un double contrôle.

Les vitesses des couches comprises entre la surface et le marqueur profond ont été déterminées graphiquement.

2.8.4 Méthodes d'interprétation

Au cours des travaux, deux méthodes d'interprétation ont été utilisées pour répondre aux conditions géologiques et morphologiques du terrain.

1) Méthode des distances critiques

La quantité observée est le temps t que prend la première onde (longitudinale) pour se rendre de la source à une ou à des stations de détection (géophones) situées à des distances x mesurées le long d'une ligne en surface. On porte sur un diagramme, en abscisse, les distances des géophones au point d'impact, considéré comme l'origine, et en ordonnée, les temps d'arrivée. On obtient ainsi une ou plusieurs lignes brisées d'où l'on déduit les vitesses de propagation des ondes dans les différentes couches, en calculant les différents $\frac{dx}{dt}$. Ce diagramme est appelé dromochronique (voir figure 3).

Selon les théories élaborées, la profondeur des contacts peut être déterminée par la formule:

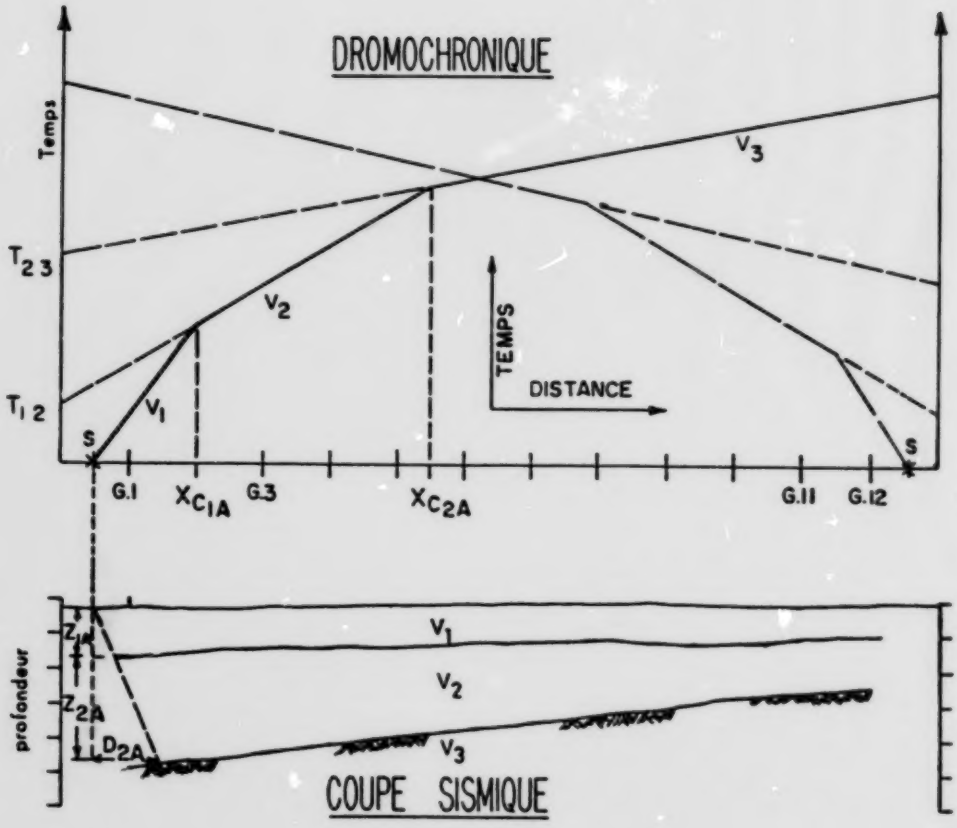
$$Z_1 = \frac{X_c}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

ou: Z_1 : Epaisseur de la première couche

X_c : Distance critique

V_1 : Vitesse sismique de la première couche

V_2 : Vitesse sismique de la deuxième couche



CALCUL DE L'ÉPAISSEUR DES COUCHES DU MORT-TERRAIN

A) une couche

$$Z_{1A} = \frac{X_{C1A}}{2}\sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

$$D_{1A} = Z_{1A}\, V_{1A}\sqrt{\frac{1}{V_2^2 - V_1^2}}$$

B) plusieurs couches (i)

ÉPAISSEUR DE LA COUCHE

$$Z_i = \frac{X_{Ci}}{2}\sqrt{\frac{V_{i+1} - V_i}{V_{i+1} + V_i}} - \sum_{K=1}^{i} Z_{i-K}\, Y_{i,i-K}$$

DISTANCE ENTRE LE SAUTAGE (S) ET L'EPAISSEUR (Z)

$$D_i = \sum_{K=1}^{i} D_{i-K} + Z_i\, V_i\sqrt{\frac{1}{(V_{i+1})^2 - V_i^2}}$$

$Y_{i,i-K}$, facteur de correction déterminé par des abaques

PRINCIPE DE LA MÉTHODE DES DISTANCES CRITIQUES

FIGURE 3

SIAL

2) Méthode de HAWKINS

Cette méthode a été élaborée et développée par le géophysicien Laric V. HAWKINS de l'Université de New South Wales, Australia. Elle nous permet de calculer la profondeur du roc, ainsi que les épaisseurs des différentes couches du mort-terrain pour chaque géophone (voir figure 4)

La méthode de HAWKINS est une méthode rapide qui était utilisée pour traiter chaque dromochronique.

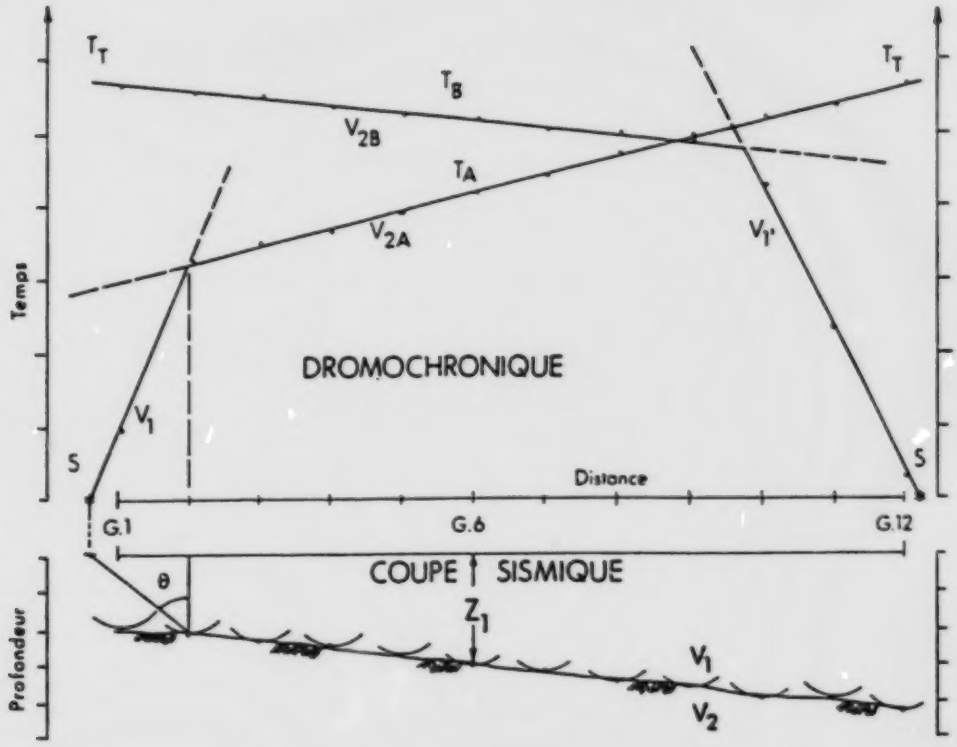
2.8.5 Influence de la forme du marqueur rapide

Les méthodes utilisées ont tendance à lisser les formes anguleuses et la figure donne une idée de l'importance de cet effet sur une vallée étroite aux flancs à 45° et une très étroite vallée aux flancs verticaux car la réfraction vient du côté de la vallée et non du fond (voir figure 5). Plus la vallée est étroite plus l'erreur au centre est importante. L'erreur est très grande pour des pentes de 90°, mais acceptable avec des pentes au voisinage de 45°.

2.8.6 Cas de disparition de marqueur

Il y a disparition de marqueur lorsque l'épaisseur de la couche lui correspondant est trop petite pour que son onde réfractée apparaisse en première arrivée (voir figure 6).

Les restitutions fournissent alors des profondeurs trop faibles pour le marqueur profond que l'on se propose d'étudier.

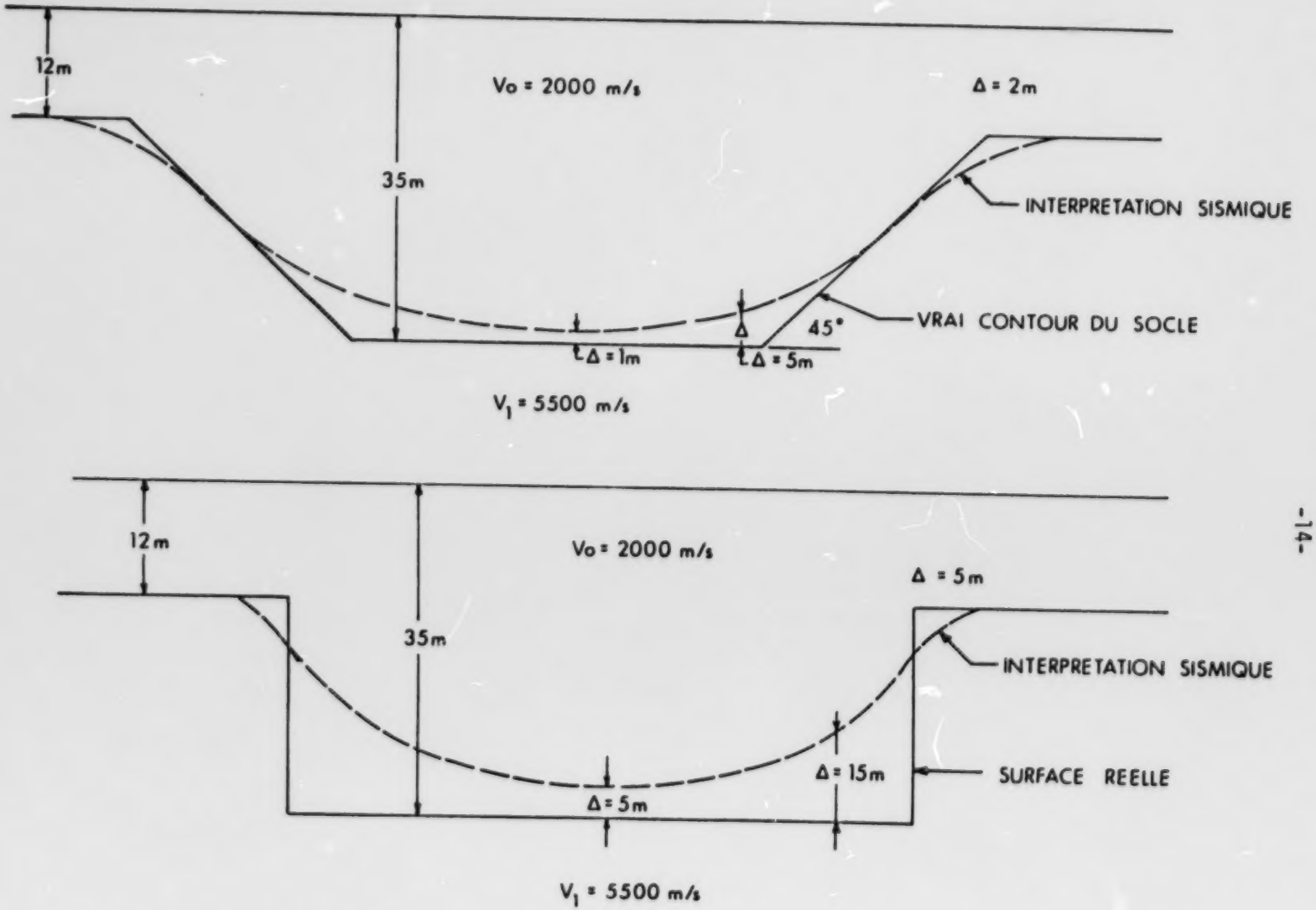


Calcul de l'épaisseur des couches du mort-terrain

a) une couche		b) plusieurs couches (i)
$Z_1 = \frac{\Delta T_1 V_1}{\cos \theta}$	Epaisseur de la couche	$Z_i = \frac{\Delta T_i \ V_i}{\cos \theta_i}$
$\sin \theta = \frac{V_1}{V_2}$	Sinus de l'angle de réfraction critique	$\sin \theta_i = \frac{V_i}{V_{i+1}}$
$V_2 = \frac{2V_{2A} \ V_{2B}}{V_{2A} + V_{2B}}$	Vitesse vraie	$V_{i+1} = V_K = \frac{2V_{KA} \ V_{KB}}{V_{KA} + V_{KB}}$
$\Delta T = \frac{(T_A + T_B) - T_T}{2}$	Différence de temps	$\Delta T_i = \frac{(T_{iA} + T_{iB}) - T_{iT}}{2} \sum_{i=0}^{i-1} \Delta T_i$

PRINCIPE DE LA MÉTHODE DE HAWKINS

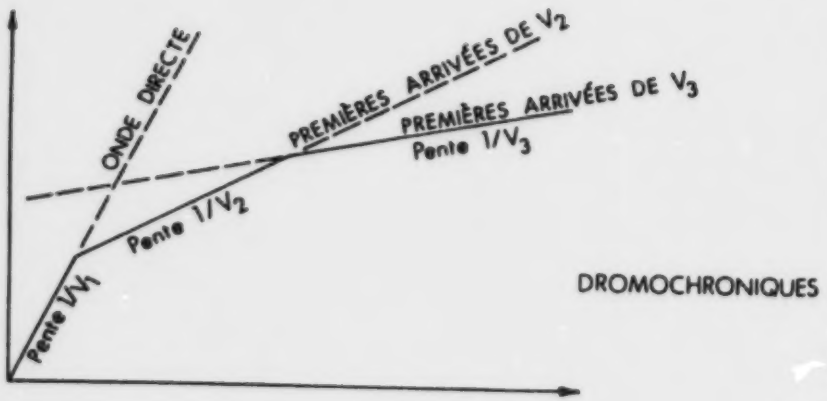
FIGURE 4



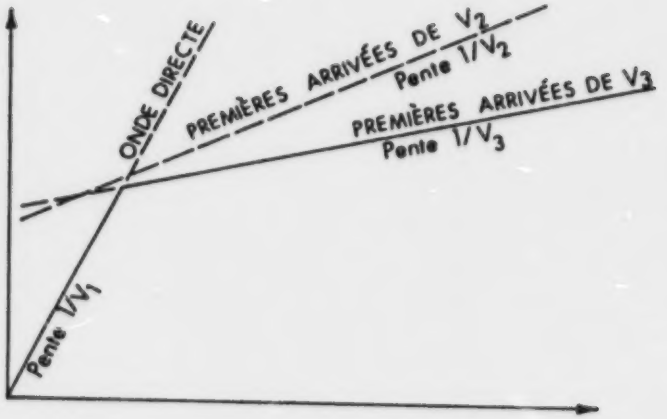
SIAL

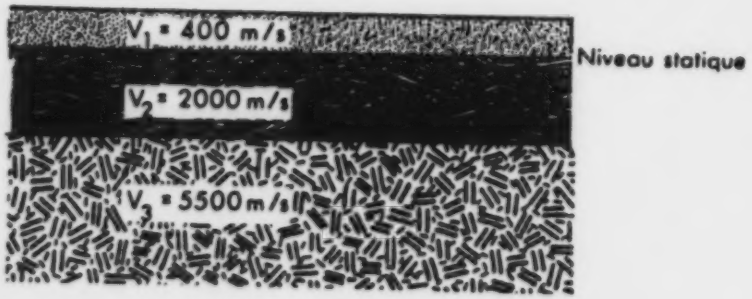
LISSAGE SISMIQUE DES STRUCTURES ANGULEUSES

FIGURE 5

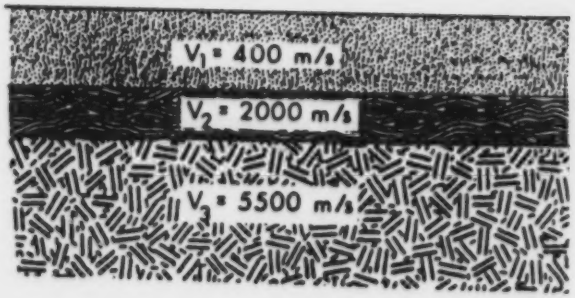


DROMOCHRONIQUES





CAS COURANT : trois couches donnant des arrivées premières



V_2 ne donne pas d'arrivée première

la couche V_2 est trop mince comparée à V_1

DISPARITION DE MARQUEUR

FIGURE 6

TVIS

2.8.7 Cas d'un terrain lent intercalé (inversion de vitesse) ($v_r > v_o > v_1$)

La sismique réfraction ne permet de suivre que des terrains de vitesses croissantes avec la profondeur. Il n'existe pas de rayon réfracté au toit du terrain v_1 et les profondeurs calculées pour le marqueur v_r seront <u>surestimées</u>.

Dans le cas où une couche de sable lâche est située sous de l'argile compacte, le problème d'inversion de vitesse devient présent partout. Les vitesses sismiques dans l'argile compacte sont supérieures à la vitesse mesurée dans le sable lâche. Un tel phénomène est schématisé à la figure 7.

Par les méthodes d'interprétation usuelles lors de phénomènes d'inversion de vitesse, les résultats montrent généralement un roc plus profond que la réalité; dans ce cas la vitesse d'interprétation est supérieure à la vraie vitesse du mort-terrain, (cf. figure 7). De plus il arrive qu'il est impossible de déceler la vitesse V_o sur les enregistrements, parce qu'il n'y a pas de réfraction critique à l'interface des couches des vitesses V_o et V_1. Pour avoir une réfraction critique il faut que la première couche ait une vitesse inférieure à celle de la deuxième couche ($V_o < V_1$), pour respecter la loi de Snell-Descartes: $\frac{\text{Sin}A}{\text{Sin}B} = \frac{V_o}{V_1} < 1$

Cette situation se retrouve dans le présent levé, où des résidus miniers furent déposés sur une mince couche de tourbe, formant une couche sismique combinée. Dans ce cas, la vitesse sismique du résidu minier est sous-estimée et son épaisseur surestimée.

ARGILE V_1 = 750 m/s

V_R = 5.000 m/s

COUPE SISMIQUE NORMALE

$V_1 < V_R$

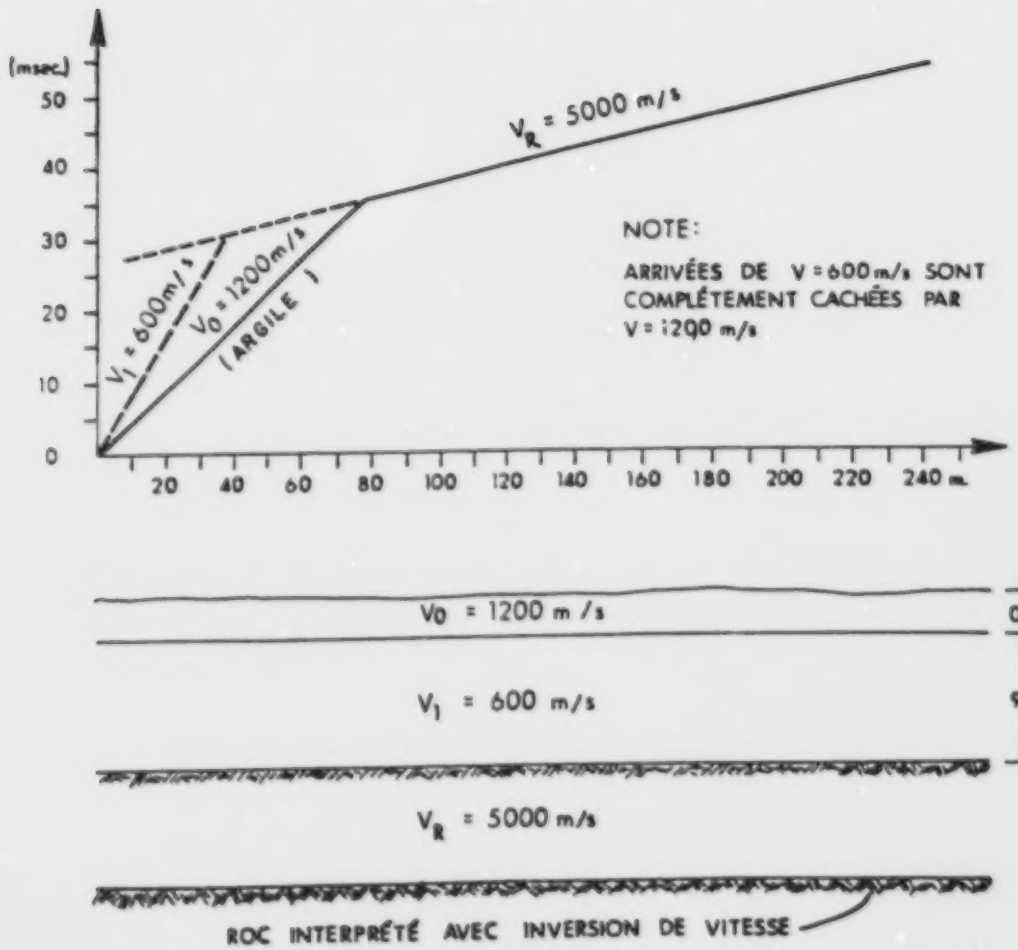
ARGILE COMPACTE V_0 = 1.200 m/s

SABLE LÂCHE V_1 = 600 m/s

V_R = 5000 m/s

COUPE SISMIQUE INVERSÉE

$V_0 > V_1 < V_R$



Phénomène d'inversion de vitesse

FIGURE 7

SIAL

III RESULTATS DES TRAVAUX

3.1 Présentation des résultats sismiques

Les résultats de la ligne sismique sont présentés sur le plan accompagnant le rapport, on y montre en section la coupe interprétée de la profondeur minimale jusqu'au roc selon les échelles horizontales et verticales de 1 cm = 10 m et 1 cm = 2.5 m.

3.2 Vitesse des différents marqueurs

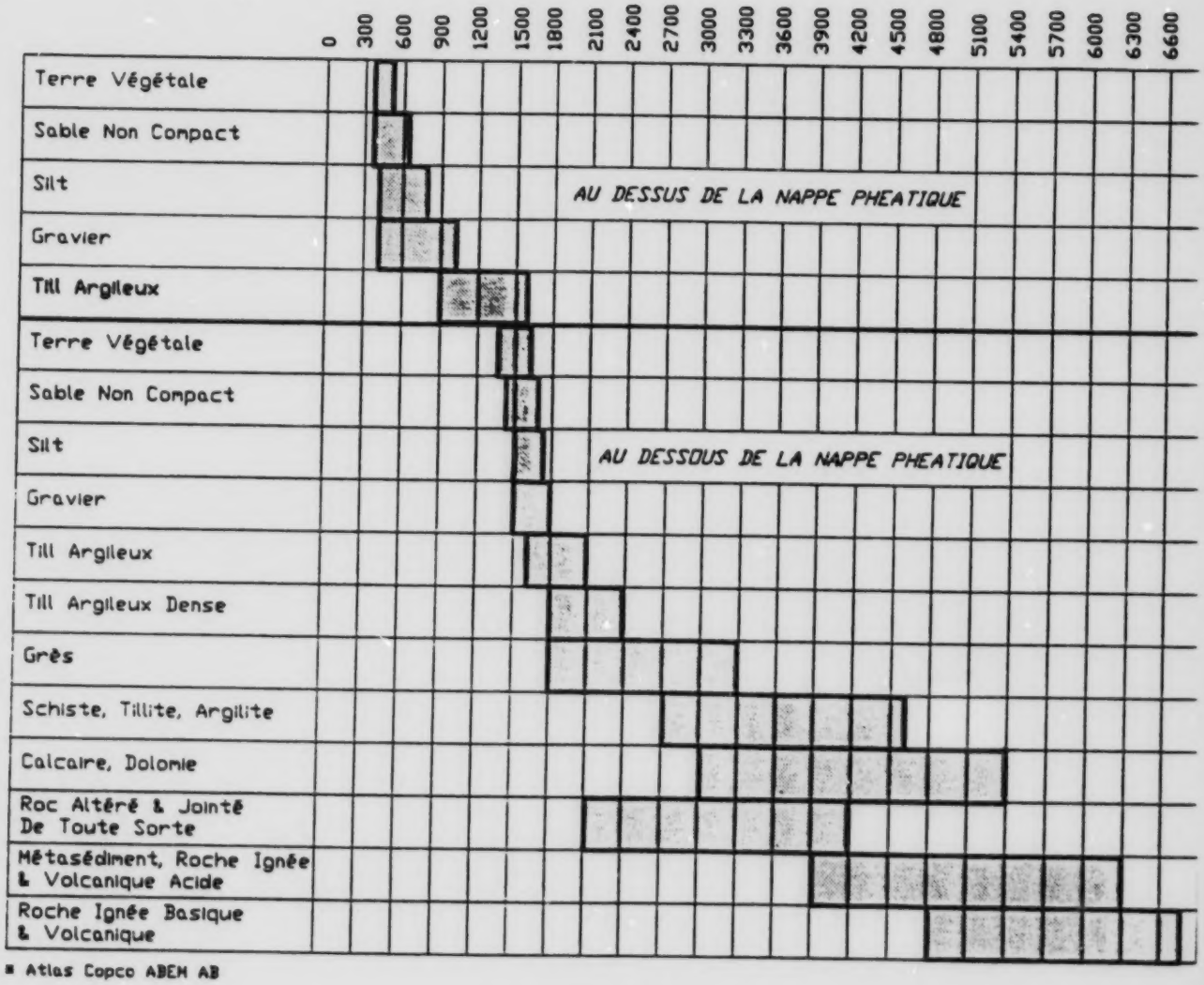
Les interfaces entre les différentes couches ont été restituées à l'aplomb des profils présentés sur le plan. Les vitesses des différents marqueurs du mort-terrain ont été relevées à partir des tirs proches. Les vitesses de la couche rapide ont été déterminées à partir des tirs éloignés de chaque côté de profil. Le tableau de classification des matériaux en fonction des vitesses sismiques est donné à la figure 8.

3.3 Ligne LS-1

3.3.1 Recouvrement de surface

La couche superficielle du mort-terrain est d'une profondeur variant de 2 à 10 mètres. Sa vitesse sismique varie généralement de 450 à 750 m/s, ce qui correspond aux résidus miniers. Il est à noter que cette vitesse est sous-estimée en raison de la combinaison résidu-tourbe (voir section 2.8.7).

Vitesse en Mètres par Seconde



■ Atlas Copco ABEM AB

CLASSIFICATION DES MATERIAUX PAR LEURS VITESSES SISMIQUES

Figure 8

SIAL

3.3.2 Deuxième couche de dépôts meubles

On observe une seconde couche de mort-terrain sur toute la zone. Son épaisseur varie de 7 à plus de 25 mètres et sa vitesse sismique est de 1650-1900 m/s. Ceci peut indiquer un sable silteux et/ou un silt sableux saturé. Il est à noter qu'on ne peut vraiment distinguer ces deux matériaux de vitesses similaires.

3.3.3 Toit du socle

D'une façon générale, la profondeur jusqu'au toit du socle tend à diminuer vers les extrémités de la ligne. Les vitesses sismiques observées varient de 2300 à 5700 m/s ce qui est indicatif de roches métamorphiques. Les vitesses de 2300 à 2700 m/s peuvent indiquer soit un roc probablement fracturé, cisaillé ou soit une altération de surface. Les vitesses de 3300-3900 m/s peuvent indiquer un roc de qualité moyenne. Les vitesses de 4100 à 5700 m/s indiquent un roc sain.

Concernant la zone de basse vitesse sismique de 2700 m/s autour du chaînage 0+050 S, il importe d'observer qu'immédiatement adjacent à ces zones, on note la présence de zones de hautes vitesses sismiques (4200 m/sec et 4500 m/s) qui présentent, dans un cas, un relief topographique positif. Ceci peut être indicatif d'une roche plus compétente qui offre une plus grand résistance à l'érosion.

Ce changement de vitesse semblait être indicatif d'un passage d'une roche moins compétente à une roche plus compétente, la fracturation (ou le cisaillement) pouvant s'effectuer près du contact entre ces deux unités

La zone de basse vitesse (2500 m/s) située autour du chaînage 0+125 N est flanquée par des zones de vitesses moins importantes (3700 à 3900 m/s). Elle semble située sur le même niveau topographique que les zones adjacentes.

Quant à la zone de basse vitesse centrée autour de 0+025 N, elle est remarquable par le fait qu'elle possède une très basse vitesse (2300 m/s), qu'elle est large (50 mètres) et qu'elle est située dans une remontée du socle.

Ceci peut être indicatif d'une zone de roc fracturé rappelant une faille à rejet vertical.

Quant à la topographie du toit du socle, on note des variations importantes plus particulièrement sur le tronçon sud de la ligne allant de moins de 10 mètres de profondeur à plus de 30 mètres sur une distance de 300 mètres. La pente demeure toutefois moyenne (7%).

Entre les chaînages 0+00 et 0+060 Nord, on note toutefois une variation importante du toit du socle dont la pente est de 20%.

3.4 Ligne LS-2

3.4.1 Couche superficielle (dépôts meubles)

Cette couche d'épaisseur variant entre 2 et 8 mètres, possède une vitesse variant entre 450 et 800 m/s, ce qui est indicatif des résidus miniers. Il est à noter que cette vitesse est sous-estimée en raison de la combinaison résidu-tourbe (voir section 2.8.7).

3.4.2 Couche profonde (dépôts meubles)

La seconde couche de vitesse allant de 1600 à 1850 m/s et d'épaisseur variant entre 5 et 23 mètres, est indicative d'un sable silteux ou d'un silt sableux saturé. Le relevé sismique ne permet pas de distinguer entre ces différents matériaux de vitesses similaires.

3.4.3 Toit du socle

Comme dans le cas de la ligne LS-1, on observe une baisse d'environ 10-15 mètres du toit du socle. Cette dépression est avant tout au centre de la ligne.

Cette baisse est aussi remarquable que celle observée sur la ligne LS-1 où la baisse accuse une pente prononcée identique à celle de la ligne LS-2, (15 à 20%).

Dans la zone qui comprend les pentes de la dépression du roc, les vitesses sont de l'ordre de 2400-1700 m/s, ce qui est indicatif d'un roc fracturé rappelant des structures pareilles à des failles à rejet vertical.

Le long du reste de la ligne, les valeurs de vitesse varient entre 3500 et 5000 m/s, ce qui est indicatif d'un roc de qualité moyenne à bonne.

3.5 Ligne LS-3

3.5.1 Première couche (dépôts superficiels)

La première couche est caractérisée par la présence de matériaux dont la vitesse est de 600 à 900 m/s et l'épaisseur de l'ordre de 2 à 8 mètres. Elle correspond avant tout aux dépôts de résidus miniers. Il est à noter que cette vitesse est sous-estimée (voir section 2.8.7).

3.5.2 Deuxième couche (dépôts en profondeur)

La deuxième couche est caractérisée par la présence de matériaux dont la vitesse est de l'ordre de 1600 à 1800 m/s, ce qui peut être indicatif de sable silteux et/ou de silt sableux saturé. On ne peut distinguer ces deux matériaux.

L'épaisseur est variable mais est surtout de l'ordre de 8 à 18 mètres.

3.5.3 Socle

Les vitesses associées à ce marqueur sont de l'ordre de 3700 à 5400 m/s, ce qui est indicatif d'un roc métamorphique de qualité moyenne à bonne.

La seule exception est la zone de 2700 m/s comprise autour du chaînage 0+110 Est.

Cette zone de basse vitesse, comprise dans une dépression du socle, pourrait correspondre au prolongement vers le nord-est de la zone de basse vitesse déterminée sur LS-2 (chaînages 0+080 W à 0+080E).

Il demeure que la topographie du toit du socle est variable, quoique moins prononcée que sur LS-2, passant de moins de 10 mètres à presque 20 mètres.

En fait la ligne LS-3 correspond au tronçon nord de la ligne LS-7 dont le socle est beaucoup moins variable en relief que pour le tronçon sud.

IV CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Des travaux de sismique réfraction ont été effectués à la mi-juillet 1991, sur le parc à résidus miniers de l'ancienne mine SULBEC-CUPRA, située à STRATFORD, dans les Cantons de l'Est.

Les travaux effectués sur 3 lignes ont permis de mettre en relief deux marqueurs associés aux dépôts meubles. Le premier marqueur d'une épaisseur généralement de 3 à 8 mètres et d'une vitesse de 500 à 800 m/s pourrait correspondre en bonne partie aux résidus miniers. Notons que l'épaisseur du résidu est surestimée, et sa vitesse sous-estimée, en raison d'une couche de tourbe sous-jacente indétectable (voir section 2.8.7).

Le second marqueur d'une épaisseur variant généralement entre 5 à plus de 20 mètres possède des vitesses généralement de l'ordre de 1650 à 1800 m/s. Ceci correspond à une combinaison de sable silteux et silt sableux. Les vitesses sismiques similaires de ces 2 matériaux empêchent toute distinction.

Enfin le marqueur associé au socle possède des vitesses généralement de l'ordre de 3700 à 5500 m/s, ce qui pourrait être indicatif de roches métamorphiques de qualité moyenne à bonne. Des zones de basses vitesses de l'ordre de 2300 à 2700 m/s ont été observées sur les 3 lignes et sont généralement localisées dans des dépressions du roc, plus particulièrement le long des flancs de ces dépressions (ligne LS-1 autour des chaînages 0+050S et 0+050N et ligne LS-2, autour des chaînages 0+050E et 0+050W). A notre avis, ces zones pourraient être indicatives d'un roc fracturé

rappelant celui de failles à rejet vertical. Ces zones méritent d'être investiguées de plus près par forage afind'identifier la lithologie en place, de confirmer ou non la présence de roc fracturé ainsi que la nature et l'épaisseur des matériaux qui constituent les dépôts meubles.

Gérard Tessier, Géophyscien

p.a. Fernand Deschamps, ing.

APPENDICE 4

TABLEAU DES MESURES DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

SUIVI DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES
PROJET SOLBEC-CUPRA (HG-153)

Date	Nbre de Jours	Niveau d'eau (m)	pH	Eh (mV)	Ks (mmhos/cm)	O2 (mg/l)	I
B91							
15 AOUT	1						
23 AOUT	9	328.28	6.4		0.14	8.9	
29 AOUT	15	328.24	6.0		0.43	7.1	
11 SEPT	28	328.20	6.4	170	0.29	10.1	
18 SEPT	35	328.24	6.5	266	0.33	8.6	
26 SEPT	43	328.24	6.2	219	0.15	9.2	
04 OCT	51	328.30	6.5	236	0.22	9.8	
09 OCT	56	328.39	6.6	212	0.17	9.3	
18 OCT	65	328.35	7.6	188	0.24	10.2	
26 OCT	73	328.28		160	0.19		
10 NOV	88	Gelé					
P91-1							
15 AOUT	1	à sec					
23 AOUT	9	327.31	6.9		0.42	0.3	0.521
29 AOUT	15	327.34	6.9		0.39	0.5	0.483
11 SEPT	28	326.65	6.9	-7	0.84	5.0	0.835
18 SEPT	35	327.06	7.0	139	1.33	4.7	0.637
26 SEPT	43	327.32	7.0	76	1.17	2.2	0.494
04 OCT	51	327.39	6.9	203	1.69	9.8	0.489
09 OCT	56	327.32	6.4	178	1.44	6.3	0.576
18 OCT	65	327.40	6.8	37	0.73	3.3	0.512
26 OCT	73	327.34	6.6	89	0.87		0.505
10 NOV	88	327.59	7.5	162	0.85	11.0	
P91-2							
15 AOUT	1	à sec					
23 AOUT	9	327.46	7.0		0.45	2.9	0.505
29 AOUT	15	327.51	6.9		0.39	0.5	0.450
11 SEPT	28	326.53	7.3	75	0.43	8.7	1.028
18 SEPT	35	326.84	7.6	139	0.48	8.5	0.864
26 SEPT	43	326.22	7.5	168	0.52	4.7	1.243
04 OCT	51	327.41	7.3	183	0.43	6.5	0.548
09 OCT	56	327.33	7.0	182	0.49	6.2	0.653
18 OCT	65	327.44	7.4	173	0.65	7.5	0.561
26 OCT	73	327.29	7.1	162	0.47		0.610
10 NOV	88	326.53	7.6	169	0.54	5.2	

Eh: Potentiel d'oxydoréduction, Ks: Conductivité, O2: Oxygène dissous, I: Gradient hydraulique

SUIVI DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES PROJET SOLBEC-CUPRA (HG-153)

Date	Nbre de Jours	Niveau d'eau (m)	pH	Eh (mV)	Ks (mmhos/cm)	O2 (mg/l)	I
P91-3							
15 AOUT	1				0.38		
23 AOUT	9	327.59	7.2		0.47	3.9	0.440
29 AOUT	15	327.58	7.0		0.49	3.3	0.421
11 SEPT	28	326.86	7.3	23	0.41	5.2	0.854
18 SEPT	35	327.21	7.6	136	0.52	6.4	0.659
26 SEPT	43	327.62	7.6	163	0.52	7.1	0.395
04 OCT	51	327.61	7.5	172	0.52	7.5	0.440
09 OCT	56	327.55	7.2	176	0.51	6.5	0.535
18 OCT	65	327.65	7.5	174	0.74	9.3	0.446
26 OCT	73	327.50	7.2	163	0.55		0.497
10 NOV	88						
P91-4							
15 AOUT	1	à sec					
23 AOUT	9	327.56	7.1		0.30	4.1	0.486
29 AOUT	15	327.64	6.9		0.48	2.8	0.405
11 SEPT	28	326.90	7.4	34	0.48	7.9	0.879
18 SEPT	35	327.20	7.7	139	0.50	8.2	0.705
26 SEPT	43	327.54	7.7	165	0.48	6.5	0.473
04 OCT	51	327.63	7.4	176	0.53	6.8	0.452
09 OCT	56	327.66	7.2	164	0.53	4.4	0.493
18 OCT	65	327.66	7.4	175	0.63	5.9	0.466
26 OCT	73	327.56	7.1	147	0.61		0.486
10 NOV	88	327.25	7.6	175	0.67	2.1	
P91-5							
15 AOUT	1				0.30	3.9	
23 AOUT	9	327.26	6.8		0.38	3.8	0.561
29 AOUT	15	327.36	6.6		0.33	3.0	0.484
11 SEPT	28	327.32	7.2	85	0.31	9.9	0.485
18 SEPT	35	326.76	7.3	133	0.33	7.8	0.817
26 SEPT	43	327.39	7.3	158	0.35	6.9	0.467
04 OCT	51	327.40	7.2	190	0.36	7.0	0.495
09 OCT	56	327.31	6.9	184	0.36	7.1	0.594
18 OCT	65	327.39	7.3	164	0.41	8.0	0.528
26 OCT	73	327.28	7.0	139	0.40		0.550
10 NOV	88	326.49	7.6	107	0.47	11.4	

Eh: Potentiel d'oxydoréduction, Ks: Conductivité, O2: Oxygène dissous, I: Gradient hydraulique

SUIVI DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES PROJET SOLBEC-CUPRA (HG-153)

Date	Nbre de Jours	Niveau d'eau (m)	pH	Eh (mV)	Ks (mmhos/cm)	O2 (mg/l)	i
P91-6							
15 AOUT	1				0.47	3.9	
23 AOUT	9	327.81	7.6		0.51	0.5	0.444
29 AOUT	15	327.82	7.1		0.57	0.8	0.396
11 SEPT	28	327.35	7.7	32	0.39	7.1	0.803
18 SEPT	35	327.63	7.7	122	1.42	6.8	0.579
26 SEPT	43	327.77	7.6	156	2.45	7.7	0.444
04 OCT	51	327.83	7.0	180	3.08	6.7	0.444
09 OCT	56	327.84	6.9	162	3.54	6.6	0.519
18 OCT	65	327.89	6.4	56	3.88	6.3	0.434
26 OCT	73	327.77		23	4.07		0.482
10 NOV	88	327.35	6.2	53	3.43	3.6	
P91-7							
15 AOUT	1				2.78	4.0	
23 AOUT	9	327.90	7.5		0.80	3.4	0.362
29 AOUT	15	327.87	7.3		0.59	3.7	0.352
11 SEPT	28	327.43	7.6	26	0.65	6.3	0.734
18 SEPT	35	327.62	7.3	128	2.07	5.9	0.594
26 SEPT	43	327.83	6.4	21	4.02	4.1	0.391
04 OCT	51	327.84	6.3	-33	4.62	5.6	0.438
09 OCT	56	327.81	6.0		4.53	4.2	0.553
18 OCT	65	327.88	6.1	11	4.20	4.5	0.448
26 OCT	73	327.77		3	3.54		0.486
10 NOV	88	327.32	6.5	79	2.74	4.0	
P91-8							
15 AOUT	1						
23 AOUT	9	328.23	3.7		3.44	3.4	0.169
29 AOUT	15	328.00	3.9		2.55	3.0	0.888
11 SEPT	28	328.13	3.5	416	2.33	8.9	0.243
18 SEPT	35	328.17	3.7	349	2.15	6.9	0.255
26 SEPT	43	328.20	3.9	356	2.14	7.6	0.131
04 OCT	51	328.25	3.7	375	2.13	7.6	0.169
09 OCT	56	328.36	5.3	219	0.62	7.5	0.094
18 OCT	65	328.36	4.5	280	1.88	8.3	-0.056
26 OCT	73	328.27		120	0.22		0.019
10 NOV	88	Gelé					

Eh: Potentiel d'oxydoréduction, Ks: Conductivité, O2: Oxygène dissous, i: Gradient hydraulique

SUIVI DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES PROJET SOLBEC-CUPRA (HG-153)

Date	Nbre de Jours	Niveau d'eau (m)	pH	Eh (mV)	Ks (mmhos/cm)	O2 (mg/l)	i
P91-9							
15 AOUT	1				6.36	3.5	
23 AOUT	9	328.23	3.2		8.05	2.7	0.161
29 AOUT	15	328.19	3.3		1.78	2.0	0.161
11 SEPT	28	328.14	3.8	346	0.97	10.2	0.199
18 SEPT	35	328.21	3.5	402	2.25	10.1	0.097
26 SEPT	43	328.24	3.6	418	2.32	4.6	-0.026
04 OCT	51	328.30	3.6	397	2.19	7.5	-0.026
09 OCT	56	328.41	3.2	385	2.26	5.4	-0.101
18 OCT	65	328.41	3.2	475	2.63	9.2	-0.251
26 OCT	73	328.28		405	2.15		-0.026
10 NOV	88	328.12	3.2	395	2.03	5.3	
P91-10							
15 AOUT	1				0.47	3.6	
23 AOUT	9	327.59	7.0		0.52	3.1	0.466
29 AOUT	15	327.64	7.0		0.49	3.4	0.405
11 SEPT	28	327.02	6.9	-39	0.42	3.3	0.798
18 SEPT	35	327.35	7.3	151	0.60	6.2	0.603
26 SEPT	43	327.62	7.4	225	0.54	8.4	0.418
04 OCT	51	327.62	7.1	188	0.57	7.8	0.459
09 OCT	56	327.61	7.0	178	0.61	6.0	0.527
18 OCT	65	327.68	7.1	200	0.82	8.0	0.452
26 OCT	73	327.55		183	0.90		0.493
10 NOV	88	327.22	7.2	151	1.40	1.2	

Eh: Potentiel d'oxydoréduction, Ks: Conductivité, O2: Oxygène dissous, i: Gradient hydraulique

SUIVI DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES PROJET SOLBEC-CUPRA (HG-153)

B90

Date	Nbre de Jours	Niveau d'eau (m)	pH	Eh (mV)	Ks (mmhos/cm)	O2 (mg/l)	i
15 AOUT	1						
23 AOUT	9	327.78	8.1		0.23	9.2	
29 AOUT	15						
11 SEPT	28	327.79	8.2	141	0.23	10.5	
18 SEPT	35						
26 SEPT	43						
04 OCT	51						
09 OCT	56						
18 OCT	65	327.81	7.6	176	0.19	10.7	
26 OCT	73						
10 NOV	88	327.78	6.7	105	0.41	10.6	

P90-1

15 AOUT	1						
23 AOUT	9	327.68	6.4		2.82	2.6	0.132
29 AOUT	15						
11 SEPT	28	327.52	6.4	-49	2.72	5.1	0.358
18 SEPT	35						
26 SEPT	43						
04 OCT	51						
09 OCT	56						
18 OCT	65	327.77	6.4	28	2.75	6.4	0.052
26 OCT	73						
10 NOV	88	327.52	6.8	44	2.80	3.4	0.344

P90-2

15 AOUT	1						
23 AOUT	9	327.59	6.4		2.67	3.3	0.262
29 AOUT	15						
11 SEPT	28	327.37	6.4	-48	2.73	5.1	0.568
18 SEPT	35						
26 SEPT	43						
04 OCT	51						
09 OCT	56						
18 OCT	65	327.71	6.4	28	2.74	6.7	0.142
26 OCT	73						
10 NOV	88	327.34	6.8	13	2.80	5.1	0.594

Eh: Potentiel d'oxydoréduction, Ks: Conductivité, O2: Oxygène dissous, i: Gradient hydraulique

SUIVI DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES PROJET SOLBEC-CUPRA (HG-153)

Date	Nbre de Jours	Niveau d'eau (m)	pH	Eh (mV)	Ks (mmhos/cm)	O2 (mg/l)	I
P90-3							
15 AOUT	1						
23 AOUT	9	327.75	6.2		2.91	2.6	0.072
29 AOUT	15						
11 SEPT	28	327.64	6.2	-45	2.95	5.3	0.371
18 SEPT	35						
26 SEPT	43						
04 OCT	51						
09 OCT	56						
18 OCT	65	327.83	6.3	12	3.09	8.1	-0.052
26 OCT	73						
10 NOV	88	327.63	6.6	12	2.95	3.8	0.371
P90-4							
15 AOUT	1						
23 AOUT	9	327.66	6.4		2.65	2.7	0.301
29 AOUT	15						
11 SEPT	28	327.56	6.3	-31	2.57	6.3	0.575
18 SEPT	35						
26 SEPT	43						
04 OCT	51						
09 OCT	56						
18 OCT	65	327.73	6.3	28	2.61	7.4	0.201
26 OCT	73						
10 NOV	88	327.52	6.7	46	2.45	4.5	0.649
P90-5							
15 AOUT	1						
23 AOUT	9	327.83	6.3		2.40	2.6	-0.296
29 AOUT	15						
11 SEPT	28	327.79	6.2	-18	2.48	6.1	0.033
18 SEPT	35						
26 SEPT	43						
04 OCT	51						
09 OCT	56						
18 OCT	65	327.89	4.4	297	2.41	8.8	-0.493
26 OCT	73						
10 NOV	88	327.81	6.3	55	2.43	4.4	-0.164

Eh: Potentiel d'oxydoréduction, Ks: Conductivité, O2: Oxygène dissous, I: Gradient hydraulique

SUIVI DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES
PROJET SOLBEC-CUPRA (HG-153)

P90-7

Date	Nbre de Jours	Niveau d'eau (m)	pH	Eh (mV)	Ks (mmhos/cm)	O2 (mg/l)	I
15 AOUT	1						
23 AOUT	9	327.92	6.5		2.29	2.6	-0.888
29 AOUT	15						
11 SEPT	28	327.83	6.3	-29	2.38	5.8	-0.230
18 SEPT	35						
26 SEPT	43						
04 OCT	51						
09 OCT	56						
18 OCT	65	327.98	6.3	40	2.40	9.0	-1.086
26 OCT	73						
10 NOV	88	327.83	6.7	47	2.13	4.4	-0.296

Eh: Potentiel d'oxydoréduction, Ks: Conductivité, O2: Oxygène dissous, I: Gradient hydraulique

SUIVI DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES PROJET SOLBEC-CUPRA (HG-153)

Date	Nbre de Jours	Niveau d'eau (m)	pH	Eh (mV)	Ks (mmhos/cm)	O2 (mg/l)	i
B89-1							
15 AOUT	1						
23 AOUT	9	328.18	6.9		0.13	8.8	
29 AOUT	15	328.15	7.0		0.10	8.0	
11 SEPT	28	328.15	7.3	134	0.16	11.3	
18 SEPT	35						
26 SEPT	43						
04 OCT	51						
09 OCT	56	328.36	6.7	127	0.14	9.5	
18 OCT	65	328.33	7.9	157	0.16	10.8	
26 OCT	73						
10 NOV	88	328.21	6.8	229	0.15	10.7	
P89-I-2							
15 AOUT	1						
23 AOUT	9	328.07	6.6		1.06	4.6	0.537
29 AOUT	15	328.04	6.4		1.21	3.1	0.537
11 SEPT	28	327.83	6.3	4	1.21	7.5	1.582
18 SEPT	35						
26 SEPT	43						
04 OCT	51						
09 OCT	56						
18 OCT	65						
26 OCT	73						
10 NOV	88	Brisé					
P89-I-3							
15 AOUT	1						
23 AOUT	9	328.12	3.5		1.12	3.8	0.179
29 AOUT	15	328.08	4.2		1.17	2.7	0.208
11 SEPT	28	327.93	3.7	358	1.07	8.2	0.635
18 SEPT	35						
26 SEPT	43						
04 OCT	51						
09 OCT	56	328.21	3.5	381	0.73	4.9	0.436
18 OCT	65	328.24	4.2	315	0.66	8.3	0.265
26 OCT	73						
10 NOV	88	327.86	3.9	394	0.51	6.4	1.006

Eh: Potentiel d'oxydoréduction, Ks: Conductivité, O2: Oxygène dissous, i: Gradient hydraulique

SUIVI DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES
PROJET SOLBEC-CUPRA (HG-153)

Date	Nbre de Jours	Niveau d'eau (m)	pH	Eh (mV)	Ks (mmhos/cm)	O2 (mg/l)	I
B89-2							
15 AOUT	1						
23 AOUT	9	327.82	7.7		0.25	8.4	
29 AOUT	15	327.81	7.4		0.21	7.4	
11 SEPT	28	327.78	7.8	130	0.19	11.2	
18 SEPT	35						
26 SEPT	43						
04 OCT	51						
09 OCT	56	327.96	7.1	170	0.19	10.2	
18 OCT	65	327.92	7.4	169	0.19	11.3	
26 OCT	73						
10 NOV	88	Gelé					
P89-2-I							
15 AOUT	1						
23 AOUT	9	327.75	3.0		0.74	3.9	0.337
29 AOUT	15	327.75	3.6		0.63	3.9	0.286
11 SEPT	28	327.57	3.2	527	0.34	10.9	1.040
18 SEPT	35						
26 SEPT	43						
04 OCT	51						
09 OCT	56	327.84	2.9	492	0.47	7.8	0.588
18 OCT	65	327.88	3.5	490	0.46	9.2	0.186
26 OCT	73						
10 NOV	88	327.55	3.9	425	0.27	11.4	
P89-2-2							
15 AOUT	1						
23 AOUT	9	327.65	6.4		0.60	5.8	0.429
29 AOUT	15	327.68	6.5		0.66	5.3	0.328
11 SEPT	28	327.54	6.8	161	0.41	11.1	0.604
18 SEPT	35						
26 SEPT	43						
04 OCT	51						
09 OCT	56	327.76	6.3	142	0.28	7.4	0.504
18 OCT	65	327.81	6.3	134	0.32	9.2	0.278
26 OCT	73						
10 NOV	88	327.37	7.3	104	0.27	12.1	

Eh: Potentiel d'oxydoréduction, Ks: Conductivité, O2: Oxygène dissous, I: Gradient hydraulique

SUIVI DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES PROJET SOLBEC-CUPRA (HG-153)

Date	Nbre de Jours	Niveau d'eau (m)	pH	Eh (mV)	Ks (mmhos/cm)	O2 (mg/l)	i
B89-3							
15 AOUT	1						
23 AOUT	9	327.93	7.50		0.16	8.8	
29 AOUT	15	327.91	7.5		0.13	8.3	
11 SEPT	28	327.90	8.0	134	0.13	11.1	
18 SEPT	35						
26 SEPT	43						
04 OCT	51						
09 OCT	56	328.34	9.2	116	0.15	12.1	
18 OCT	65	328.02	9.1	79	0.15	13.8	
26 OCT	73						
10 NOV	88	327.95	9.8		0.22	15.0	
P89-3-1							
15 AOUT	1						
23 AOUT	9	327.92	6.9		0.24	5.6	0.081
29 AOUT	15	327.90	7.0		0.21	5.3	0.081
11 SEPT	28	327.82	7.3	168	0.18	8.4	0.550
18 SEPT	35						
26 SEPT	43						
04 OCT	51						
09 OCT	56	328.02	7.9	180	0.19	7.2	2.161
18 OCT	65	328.03	8.2	126	0.21	10.0	-0.054
26 OCT	73						
10 NOV	88	327.76	7.0	156	0.24	7.5	1.289
P89-3-2							
15 AOUT	1						
23 AOUT	9	327.65	7.0		0.30	5.9	0.791
29 AOUT	15	327.68	7.3		0.34	4.1	0.648
11 SEPT	28	327.23	7.2	158	0.29	9.2	1.908
18 SEPT	35						
26 SEPT	43						
04 OCT	51						
09 OCT	56	327.74	7.7	181	0.27	8.1	1.708
18 OCT	65	327.77	7.8	142	0.25	9.8	0.705
26 OCT	73						
10 NOV	88	327.28	6.5	159	0.21	11.8	1.908

Eh: Potentiel d'oxydoréduction, Ks: Conductivité, O2: Oxygène dissous, i: Gradient hydraulique

SUIVI DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES PROJET SOLBEC-CUPRA (HG-153)

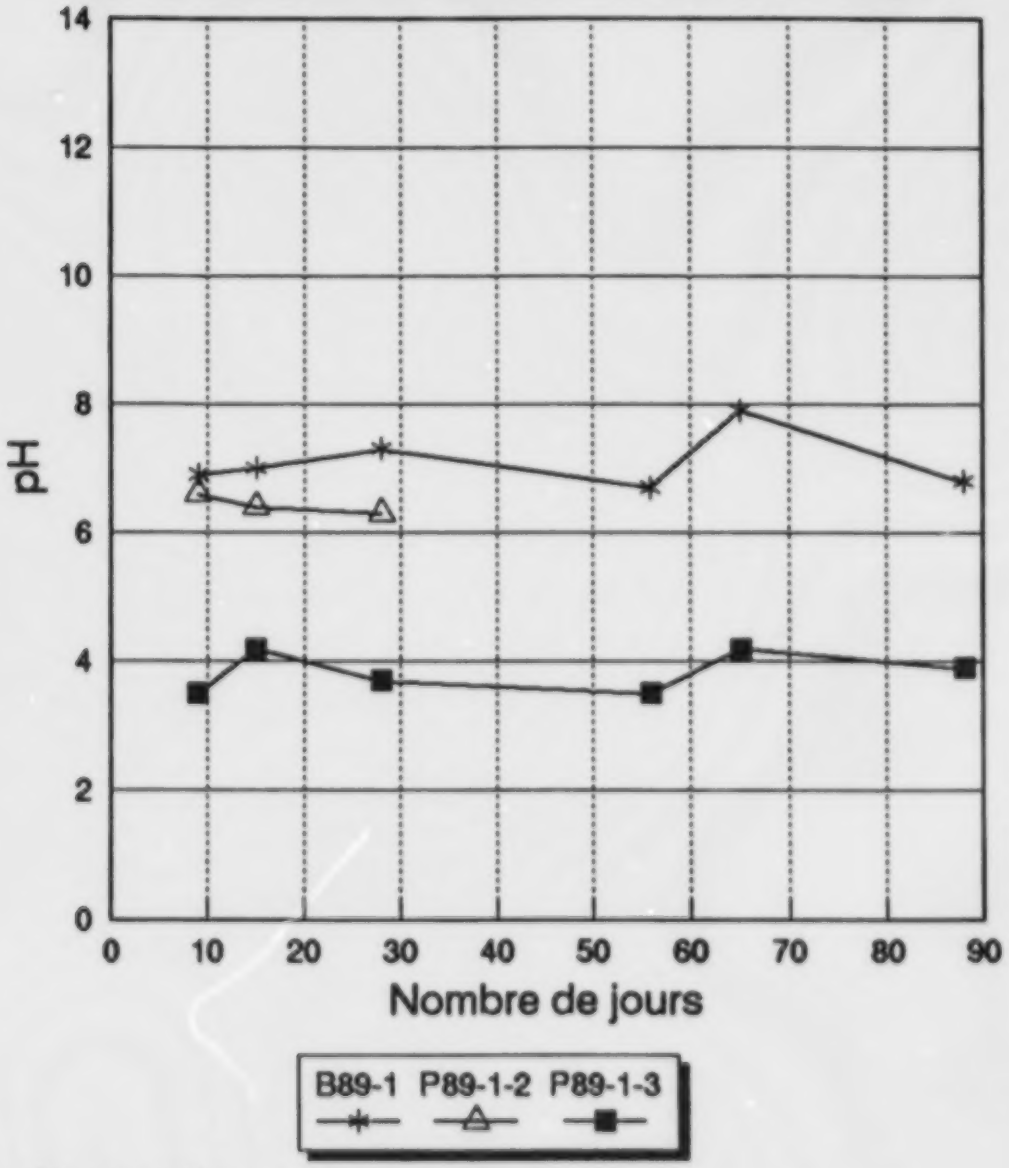
Date	Nbre de Jours	Niveau d'eau (m)	pH	Eh (mV)	Ks (mmhos/cm)	O2 (mg/l)	i
P-4							
15 AOUT	1	à sec					
23 AOUT	9	327.091	presque à sec				
29 AOUT	15						
11 SEPT	28	à sec					
18 SEPT	35	à sec					
26 SEPT	43						
04 OCT	51						
09 OCT	56	327.271	2.5	469	5.66	9.6	
18 OCT	65	327.311	2.9	620	5.07	10.6	
26 OCT	73						
10 NOV	88						
P-5							
15 AOUT	1						
23 AOUT	9	326.482	6.5		0.82	2.5	
29 AOUT	15						
11 SEPT	28	326.36	6.6	-40	0.62	6.5	
18 SEPT	35	326.00	6.6	-4	0.67	5.7	
26 SEPT	43						
04 OCT	51						
09 OCT	56	327.03	6.3		0.68	4.0	
18 OCT	65	327.08	6.7	1200	0.66	6.2	
26 OCT	73						
10 NOV	88						
P-6							
15 AOUT	1	à sec					
23 AOUT	9	327.04	7.1		1.17	3.5	
29 AOUT	15						
11 SEPT	28	à sec					
18 SEPT	35	326.51	a sec				
26 SEPT	43						
04 OCT	51						
09 OCT	56	327.19	7.4	173	1.01	5.8	
18 OCT	65	327.34	7.7	118	1.03	8.8	
26 OCT	73						
10 NOV	88						

Eh: Potentiel d'oxydoréduction, Ks: Conductivité, O2: Oxygène dissous, i: Gradient hydraulique

APPENDICE 5

GRAPHIQUES DE L'ÉVOLUTION DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES
PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-153)
ÉVOLUTION DU pH DANS LE BASSIN 89-1

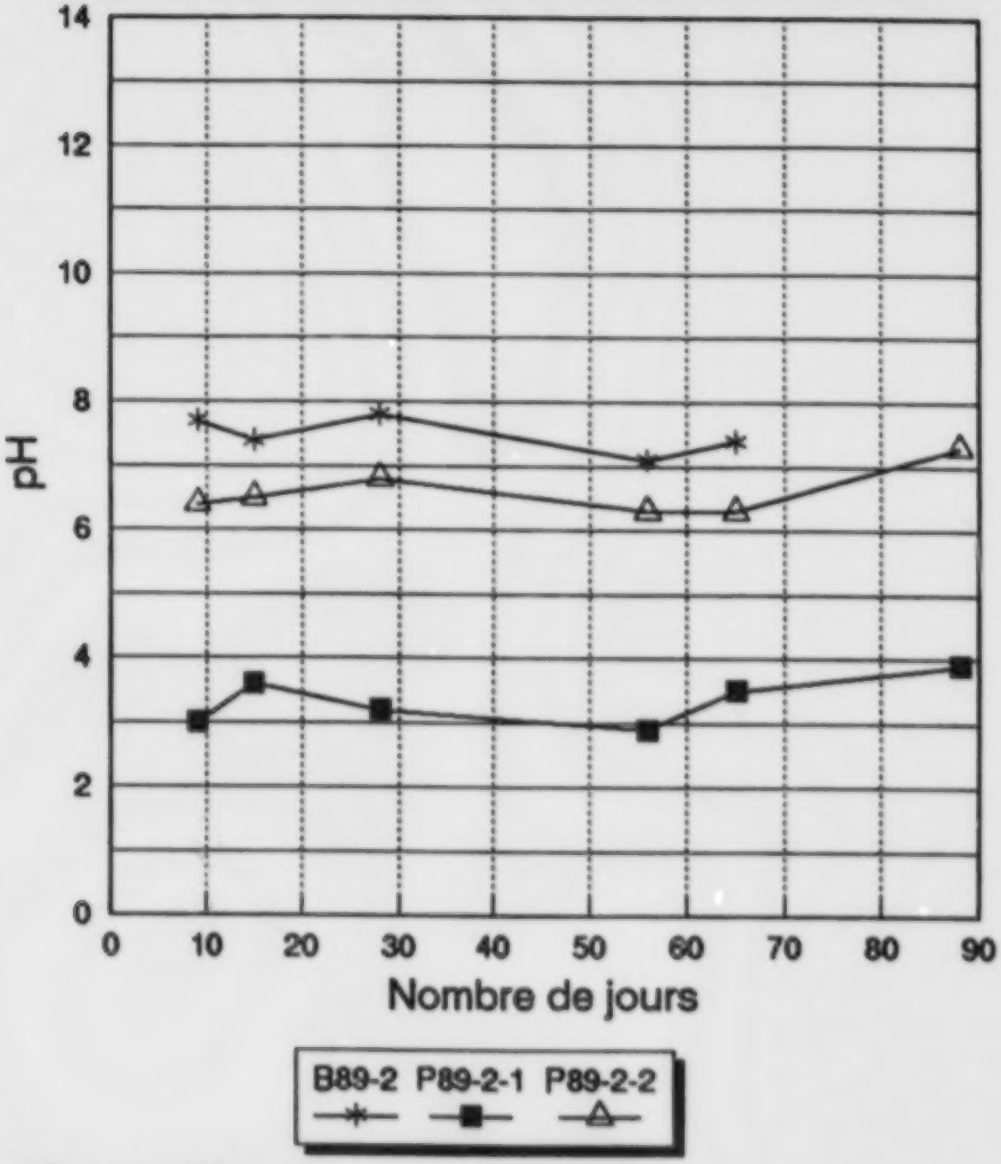


astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé
carré: milieu oxydé

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-153)

ÉVOLUTION DU pH DANS LE BASSIN 89-2

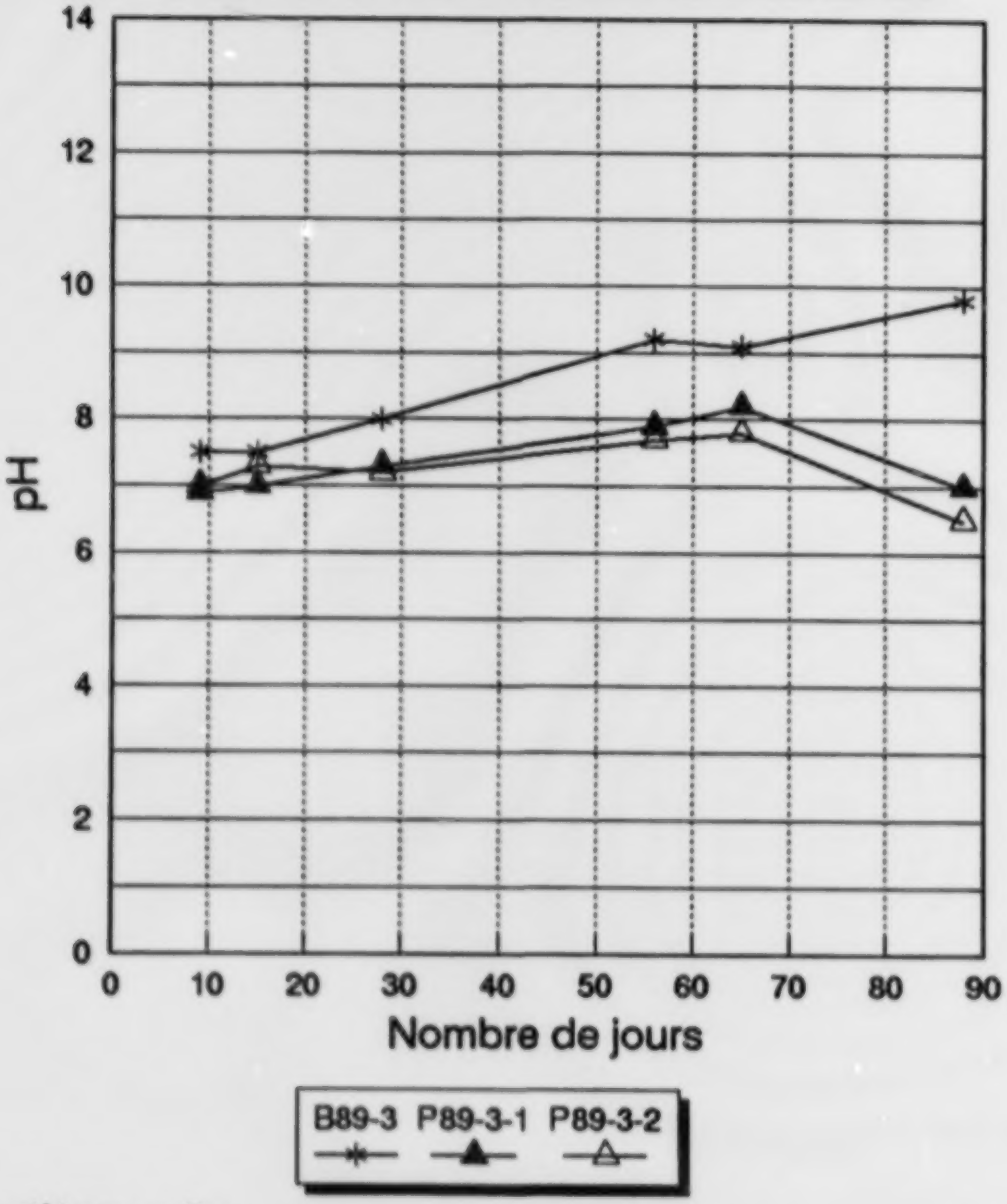


astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé
carré: milieu oxydé

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

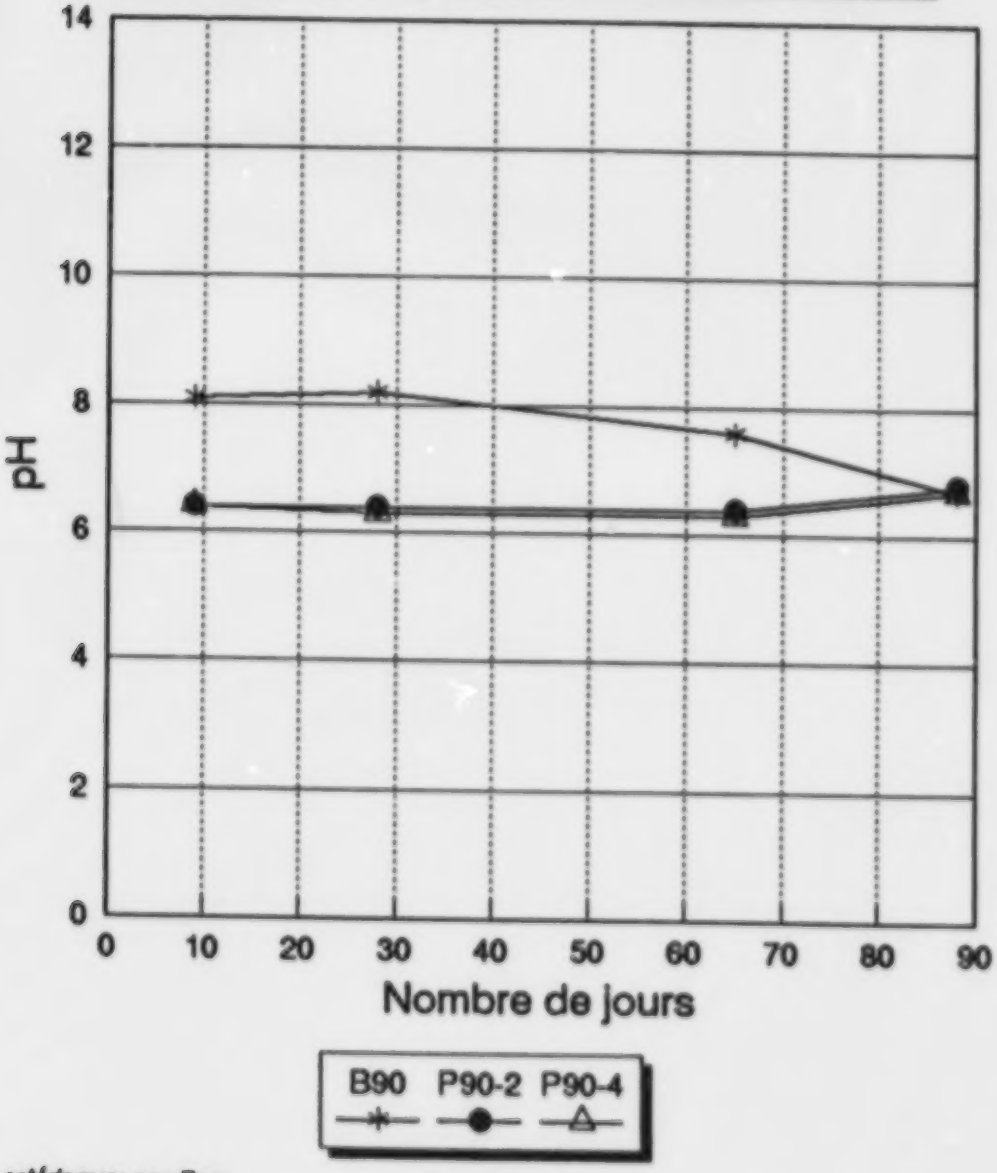
PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-153)

ÉVOLUTION DU pH DANS LE BASSIN 89-3



astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES
PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-163)
ÉVOLUTION DU pH DANS LE BASSIN 90

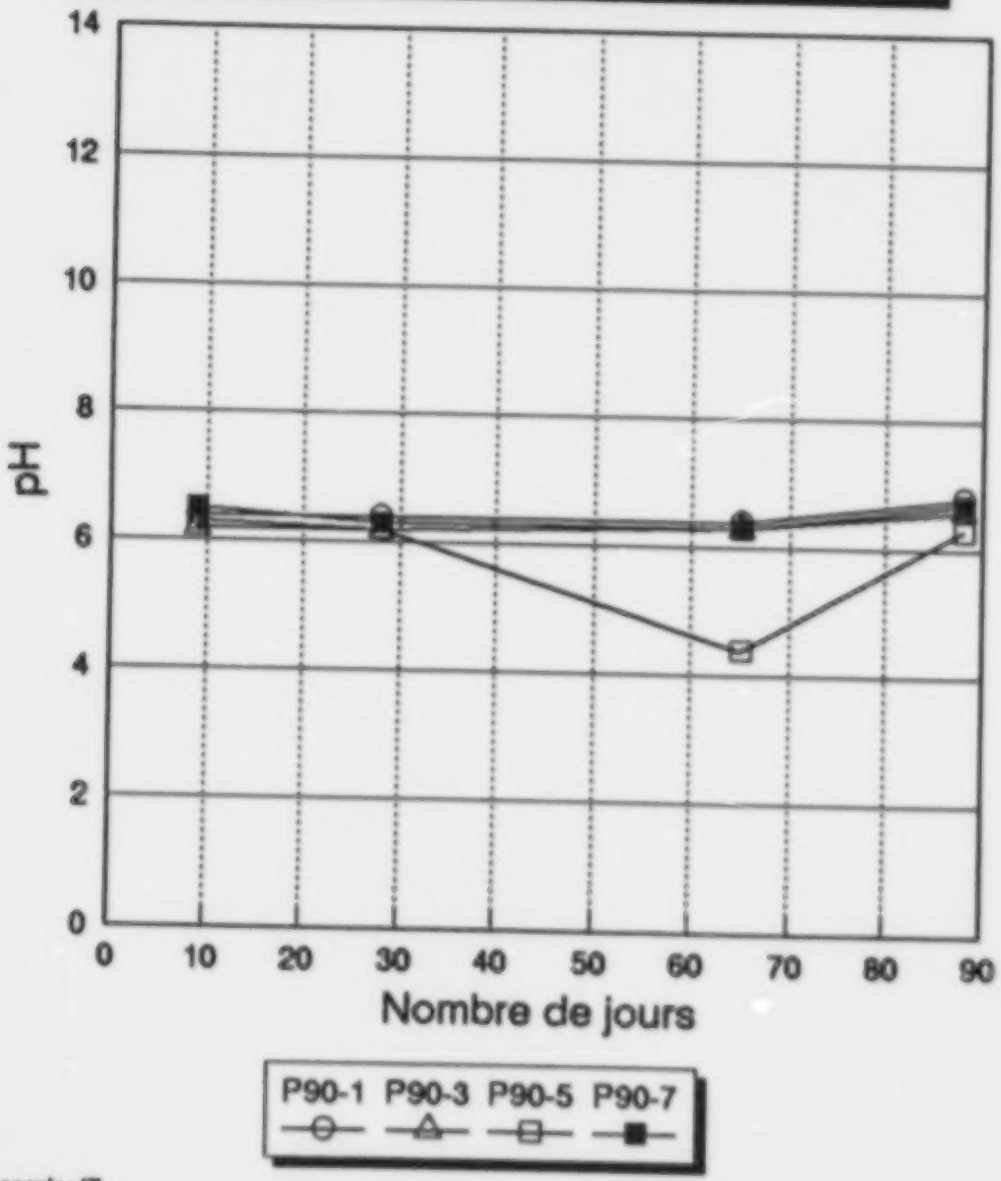


astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé
cercle: fil

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-153)

ÉVOLUTION DU pH DANS LE BASSIN 90

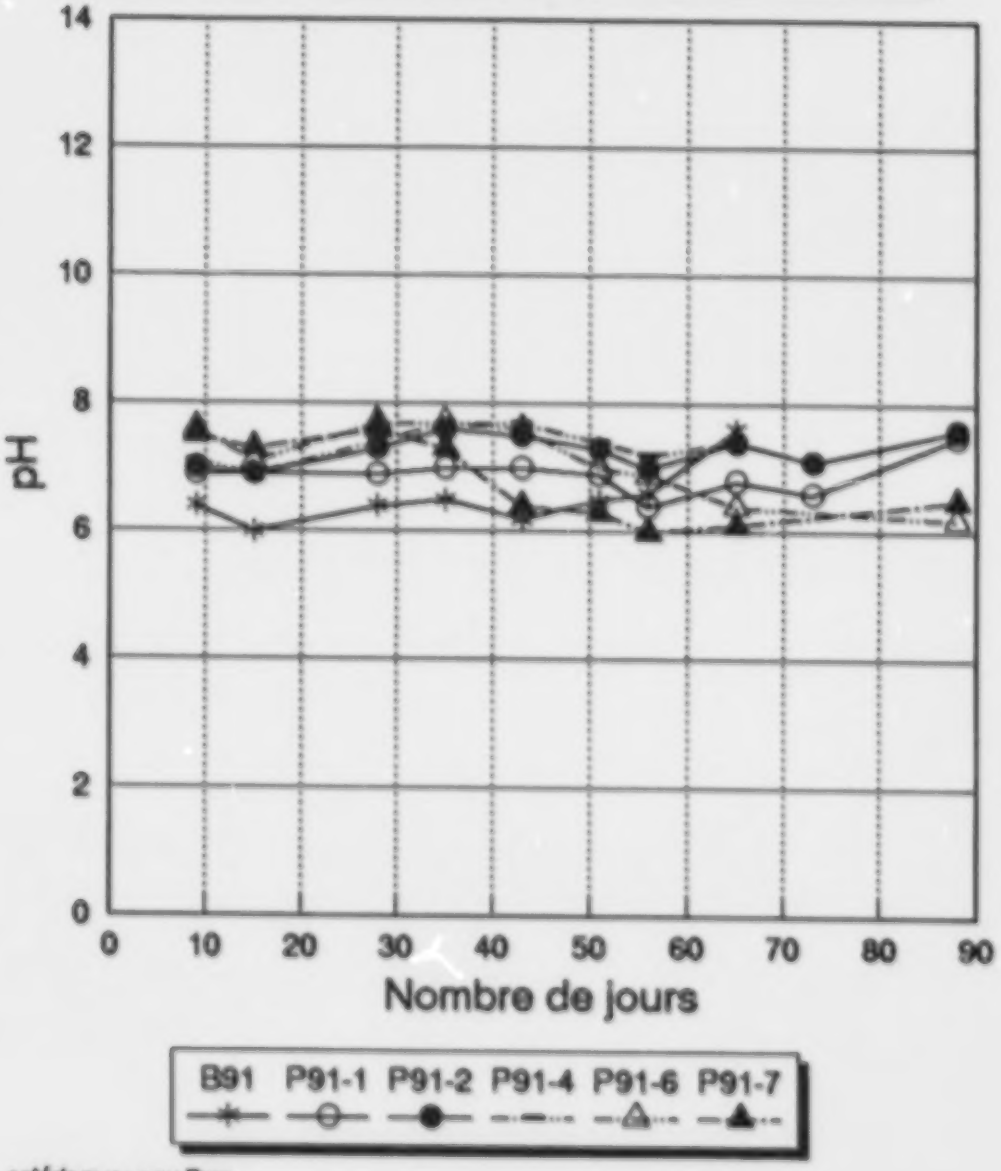


cercle:
triangle: milieu non-oxydé
carré: milieu oxydé

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-153)

ÉVOLUTION DU pH DANS LE BASSIN 91

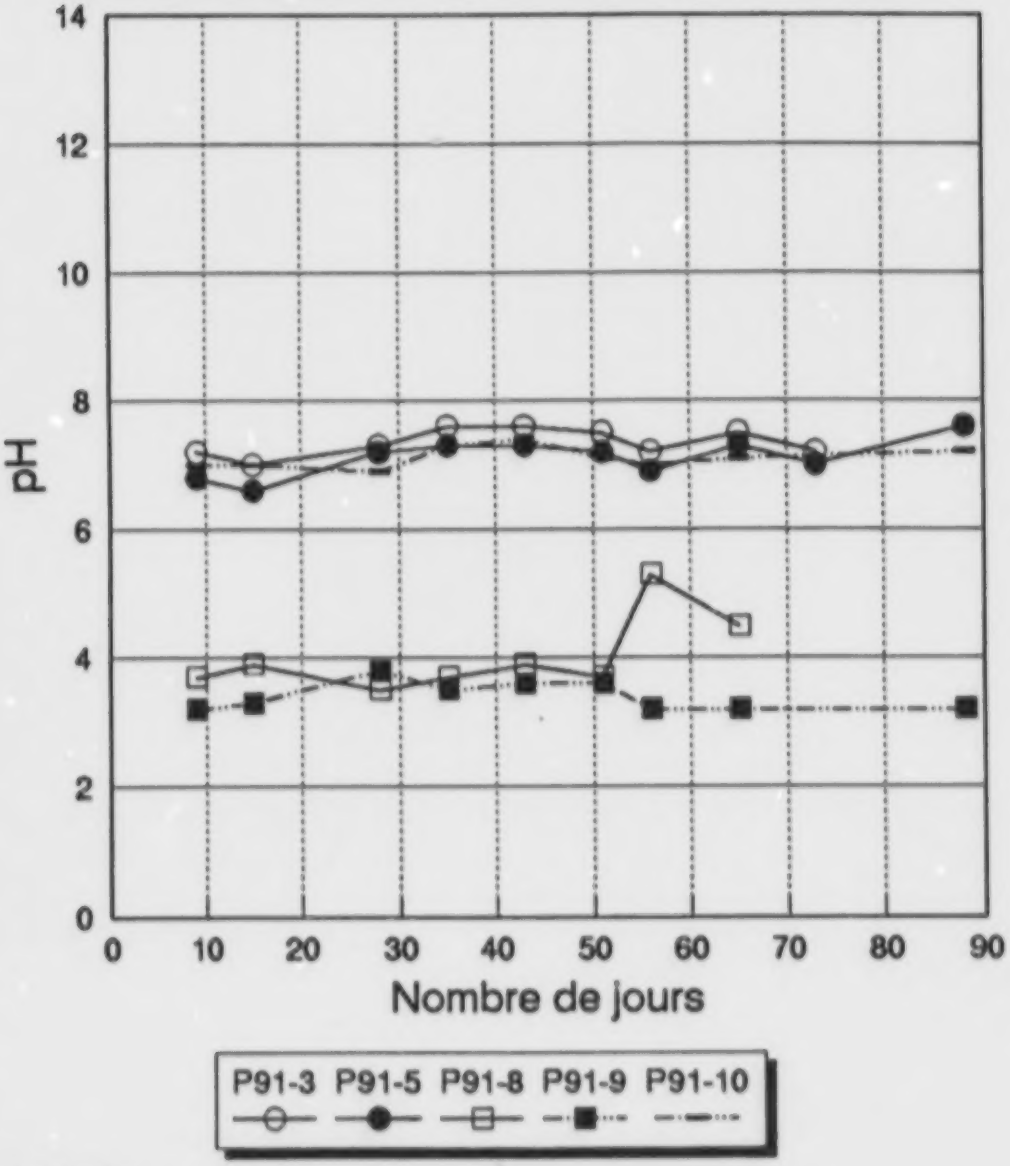


astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé
cercle: till; trait: tourbe

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-153)

ÉVOLUTION DU pH DANS LE BASSIN 91

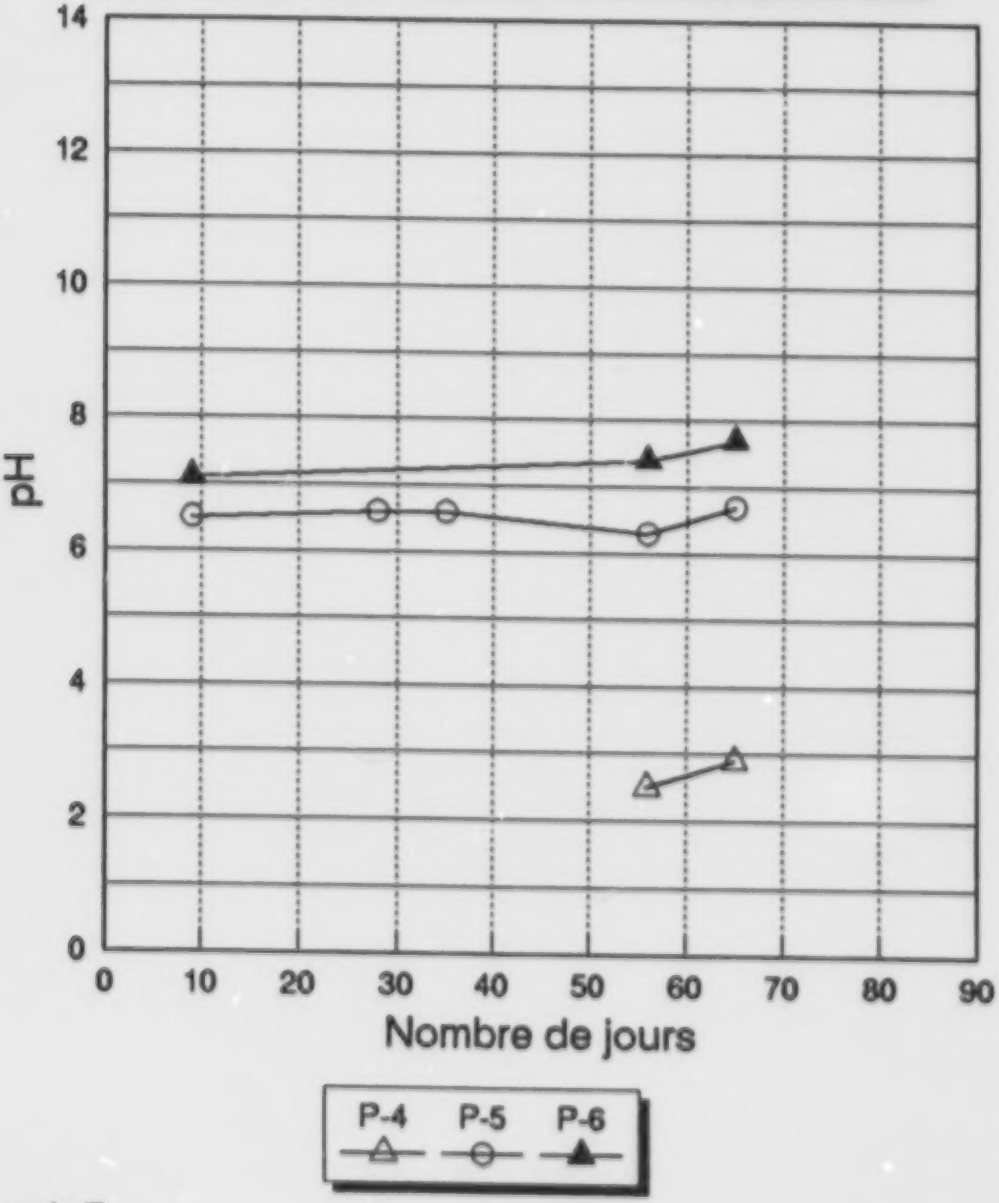


trait: tourbe
carré: milieu oxydé
cercle: till

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HQ-153)

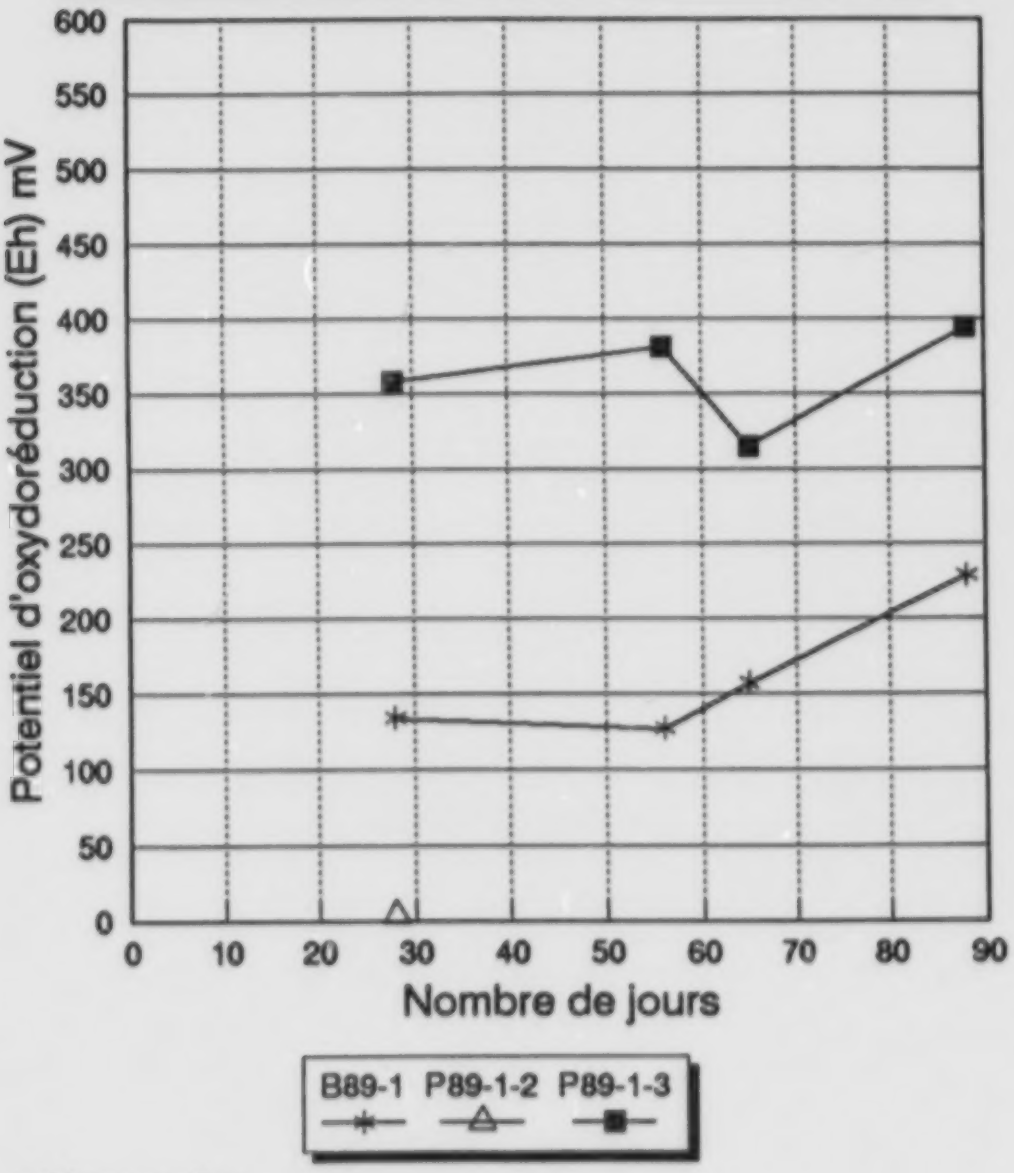
ÉVOLUTION pH DANS LES PIÉZO 4-5 ET 6



cercle: till

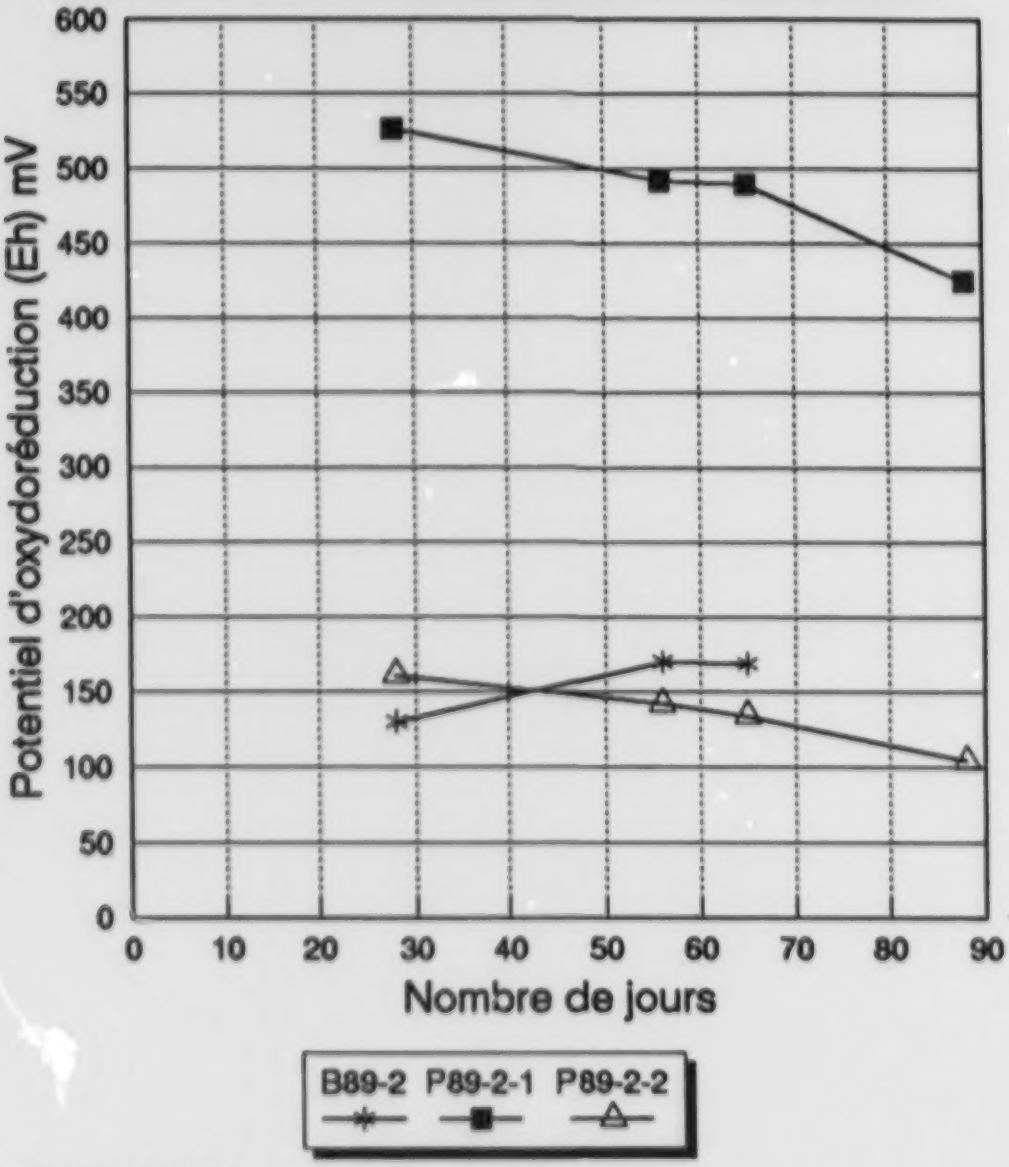
triangle: milieu non-oxydé

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES
PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HQ-153)
ÉVOLUTION DU POTENTIEL REDOX DANS LE BASSIN 89-1



astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé
carré: milieu oxydé

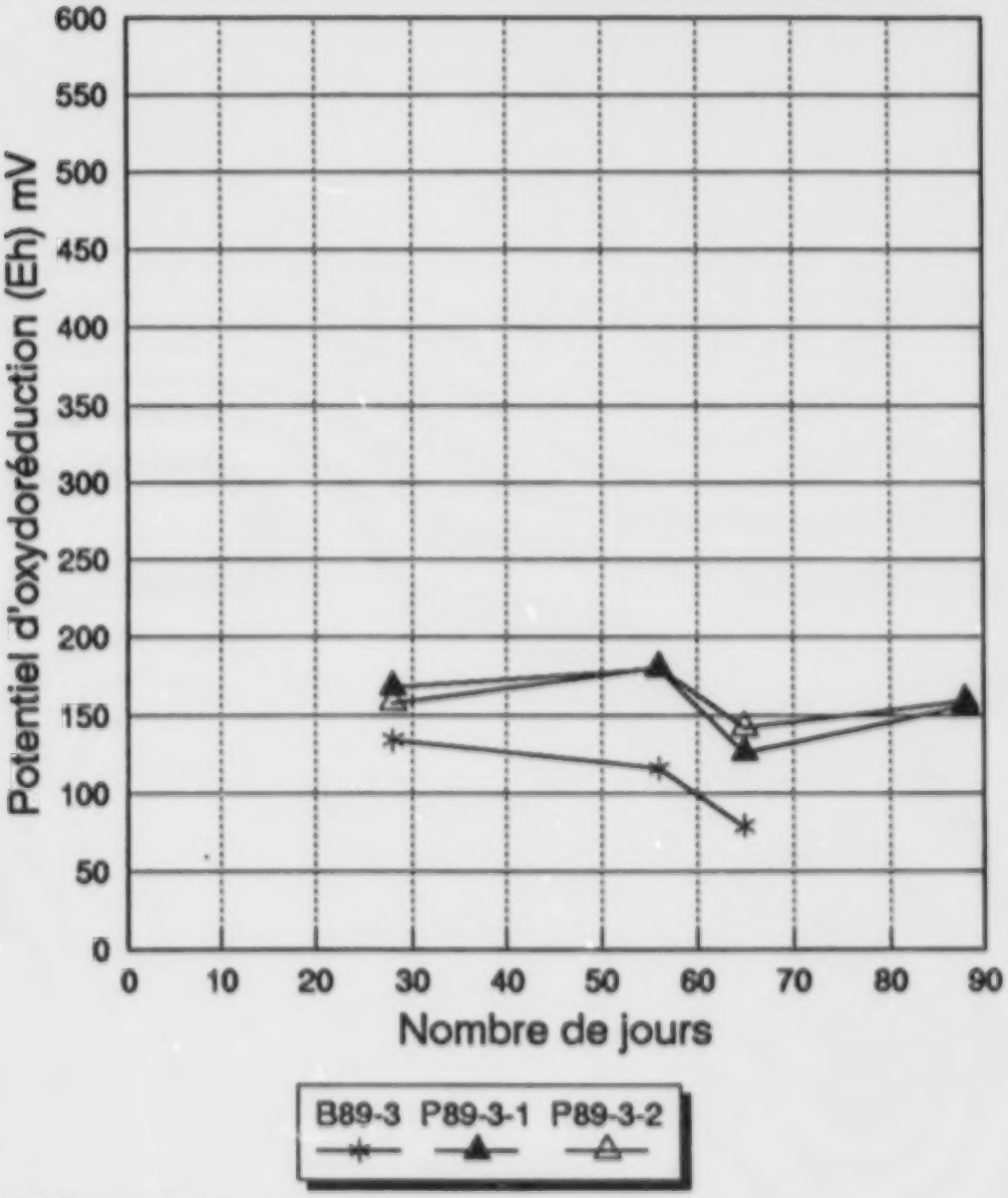
ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES
PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-153)
ÉVOLUTION DU POTENTIEL REDOX DANS LE BASSIN 89-2



astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé
carré: milieu oxydé

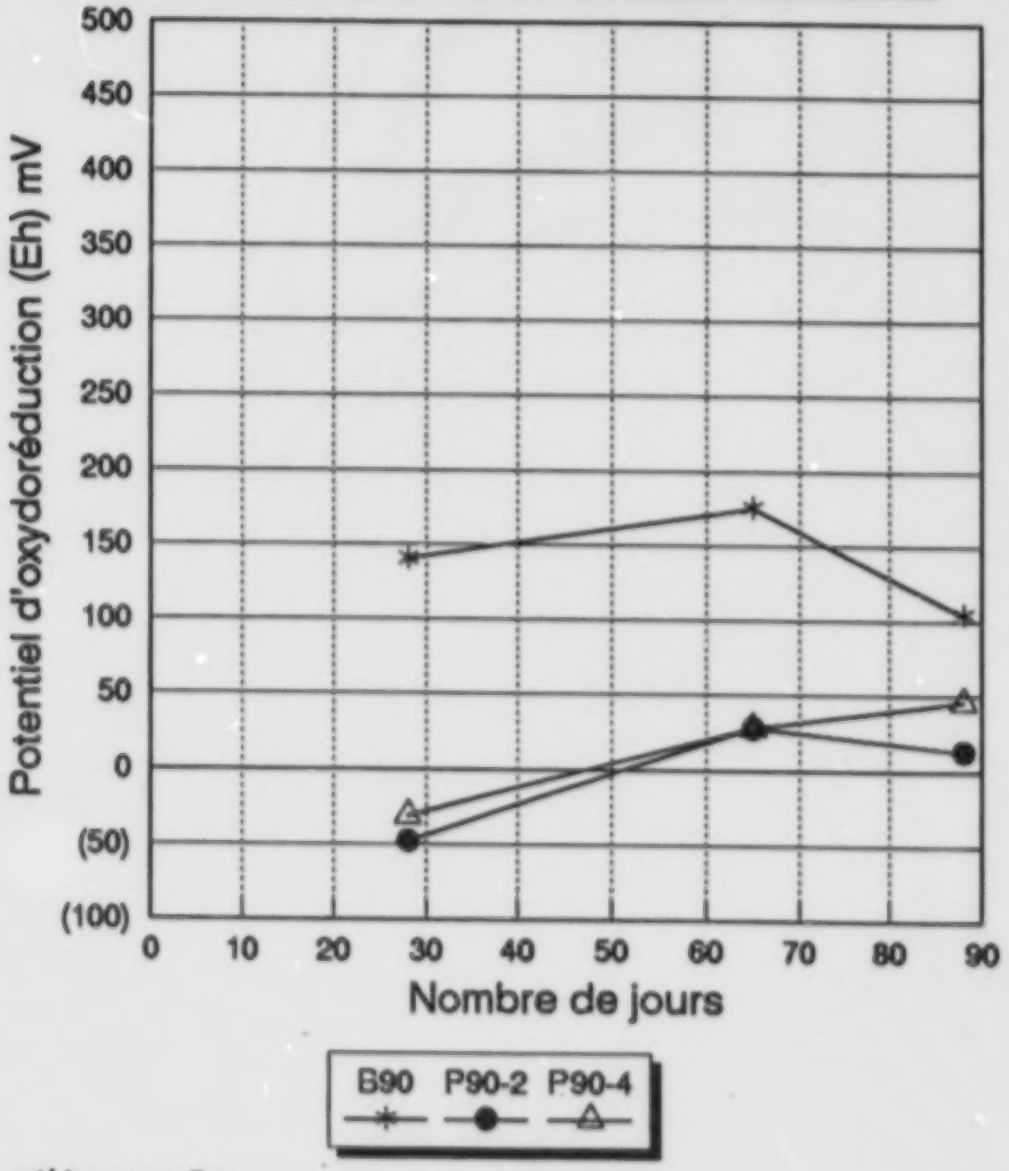
ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-153)
ÉVOLUTION DU POTENTIEL REDOX DANS LE BASSIN 89-3



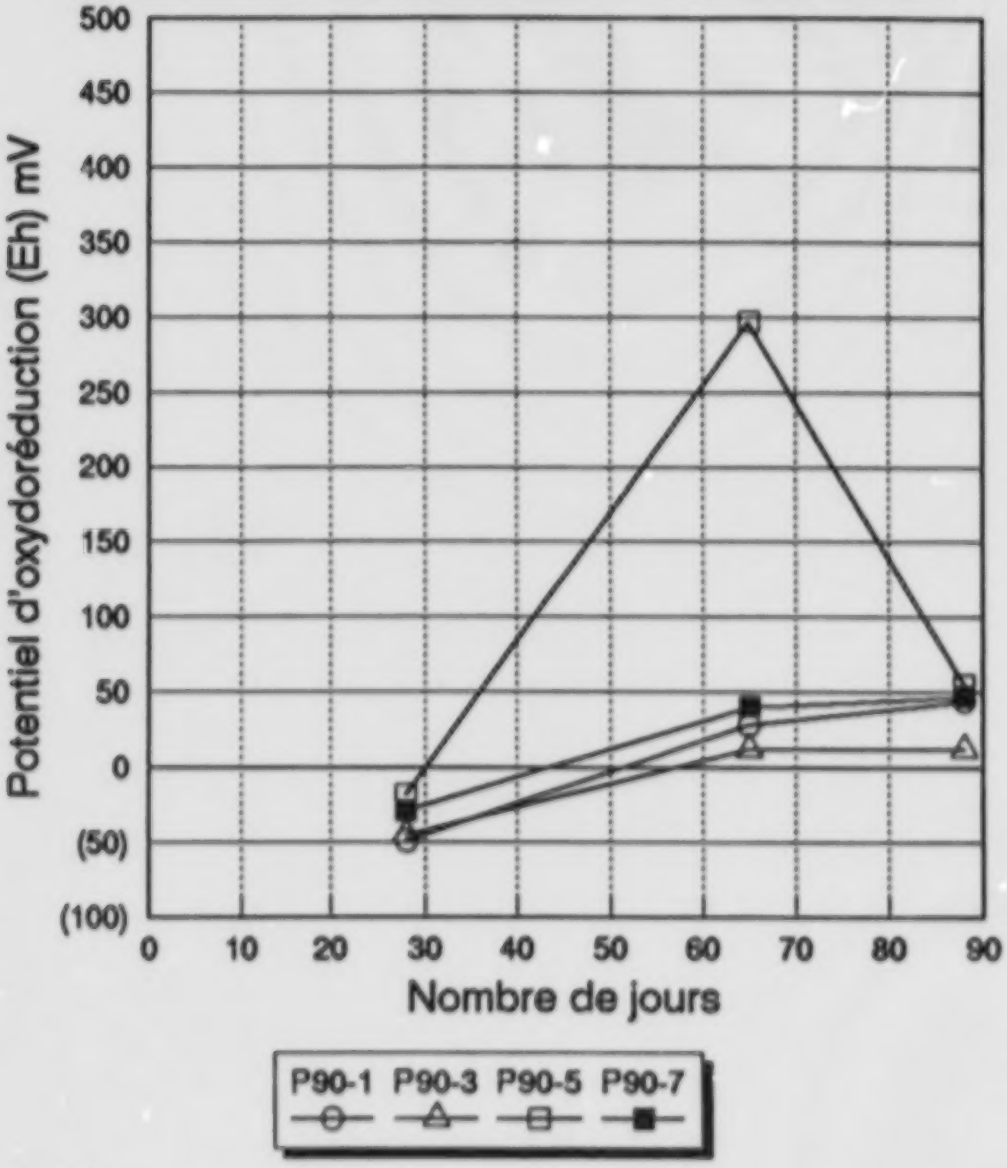
astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES
PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HQ-153)
ÉVOLUTION DU POTENTIEL REDOX DANS LE BASSIN 90



astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé
cercle: [illegible]

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES
PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLIDEC-CUPRA (HQ-153)
ÉVOLUTION DU POTENTIEL REDOX DANS LE BASSIN 90

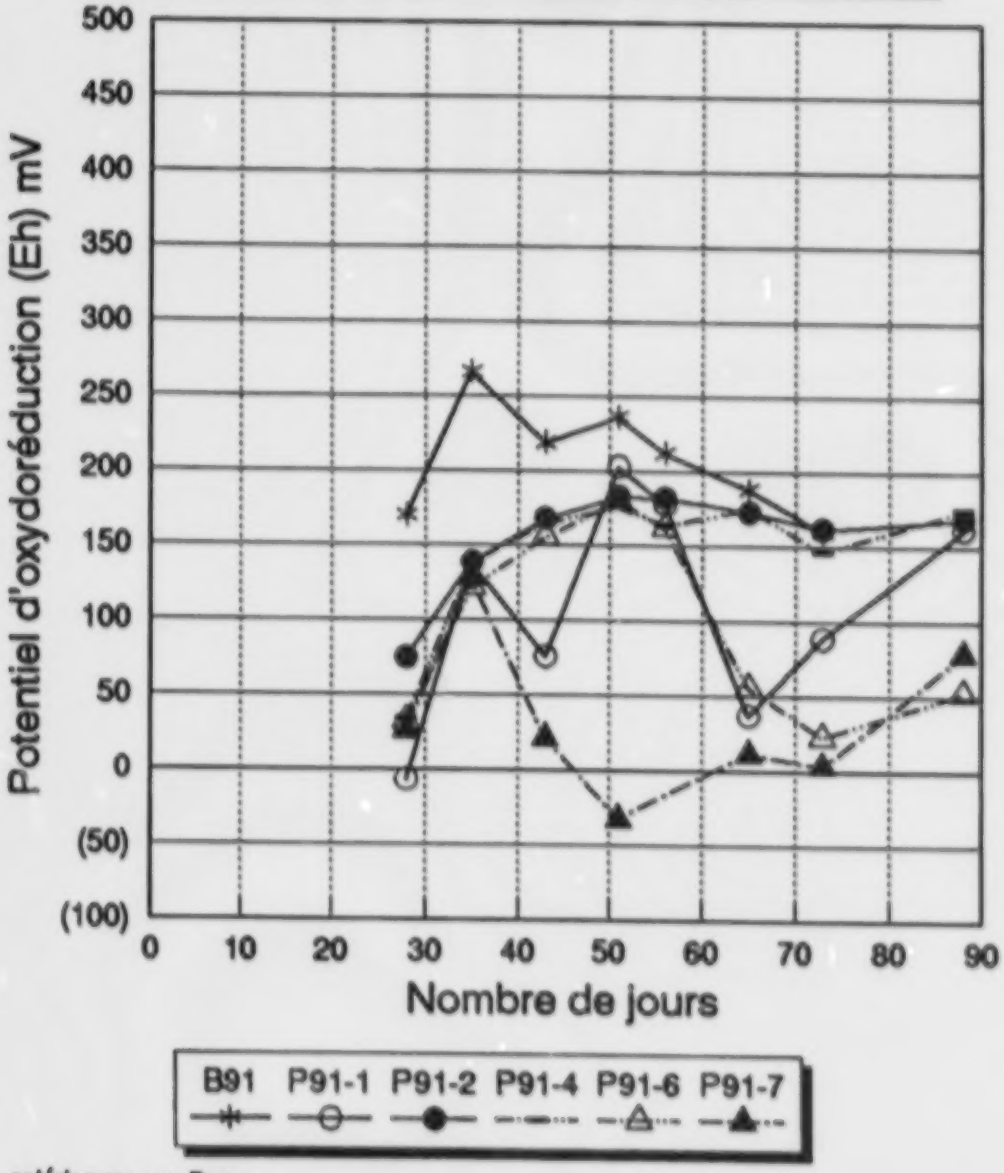


cercle: tl
triangle: milieu non-oxydé
carré: milieu oxydé

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-153)

ÉVOLUTION DU POTENTIEL REDOX DANS LE BASSIN 91

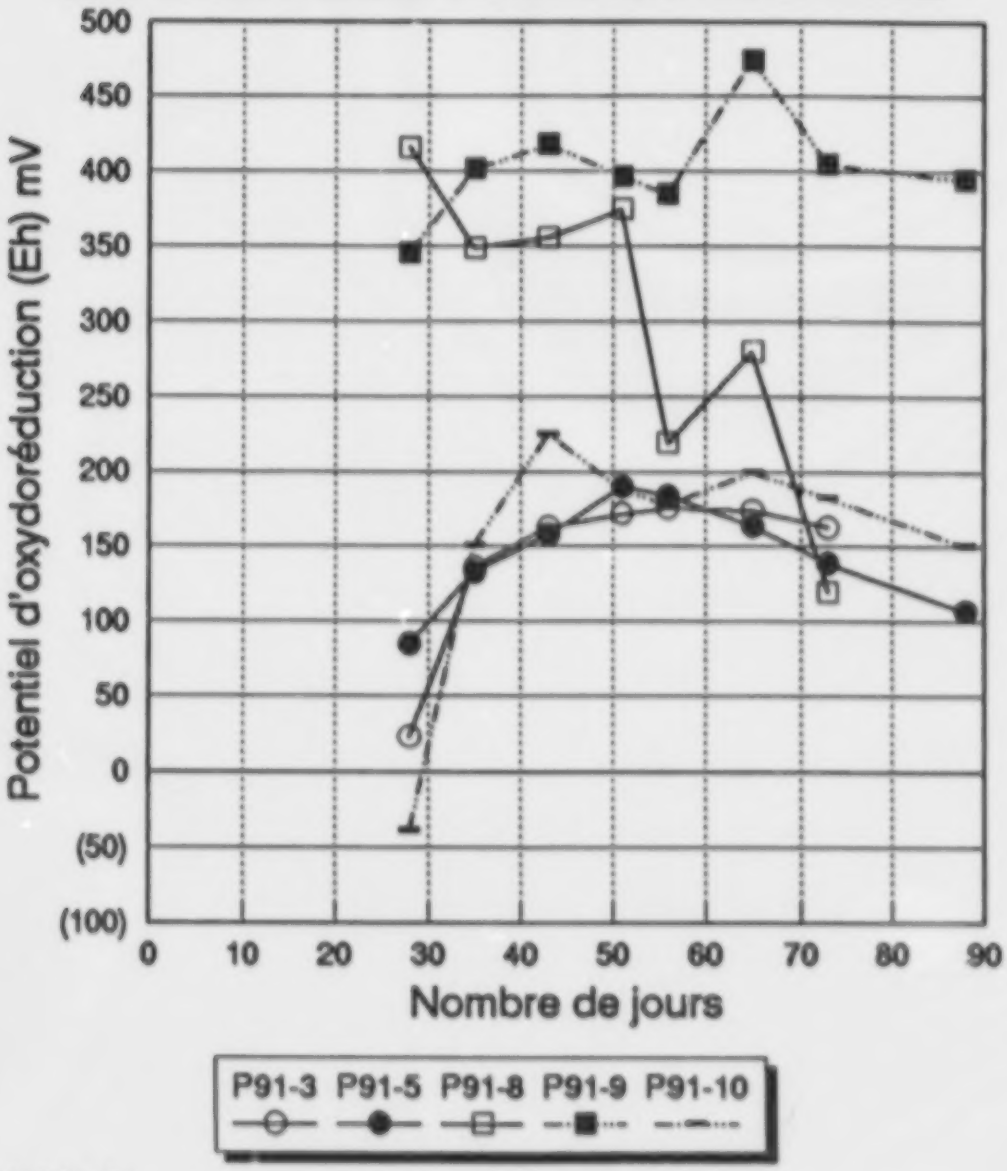


astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé
cercle: till; trait: tourbe

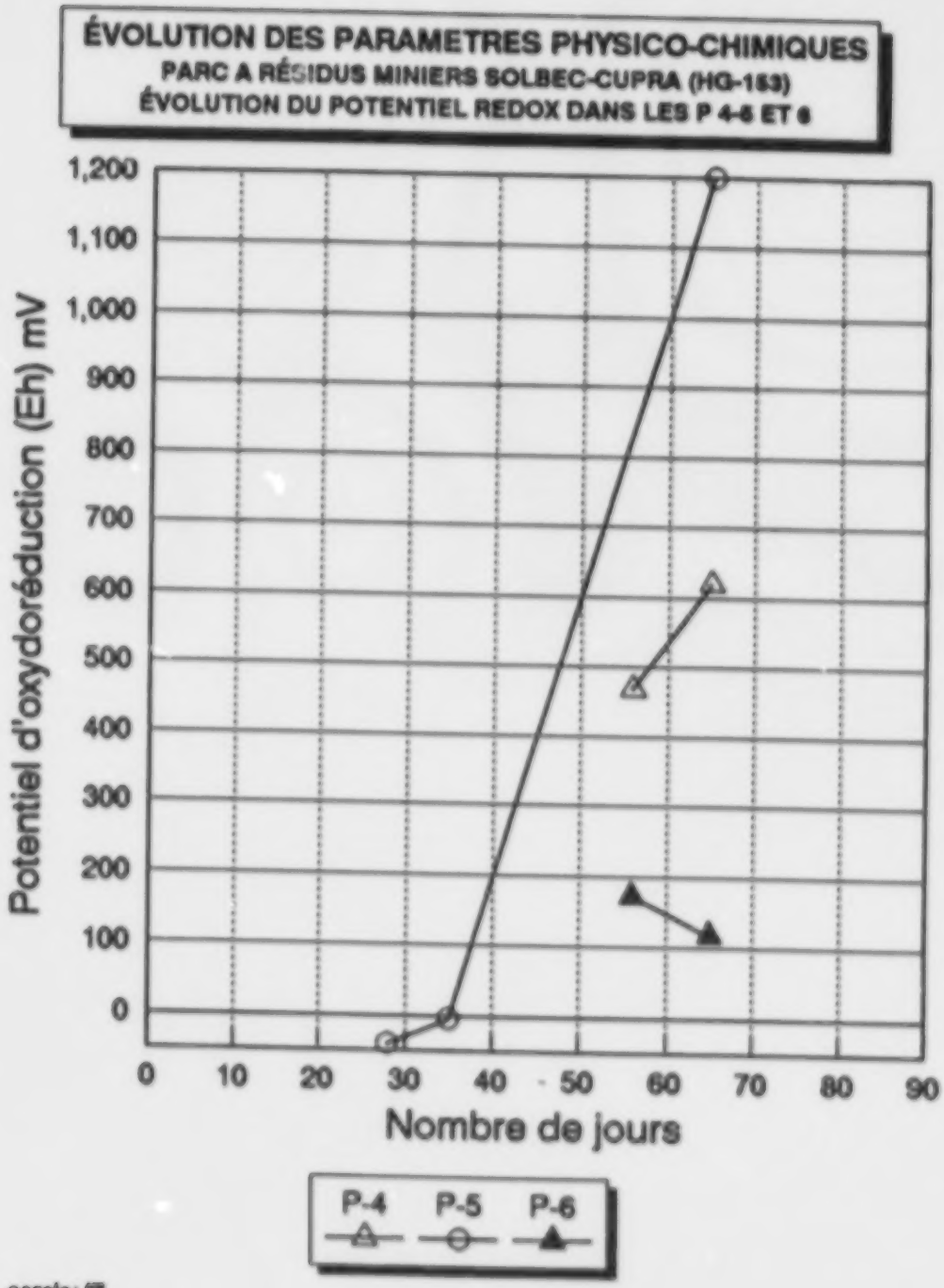
ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-153)

ÉVOLUTION DU POTENTIEL REDOX DANS LE BASSIN 91



trait: tourbe
carré: milieu oxydé
cercle:

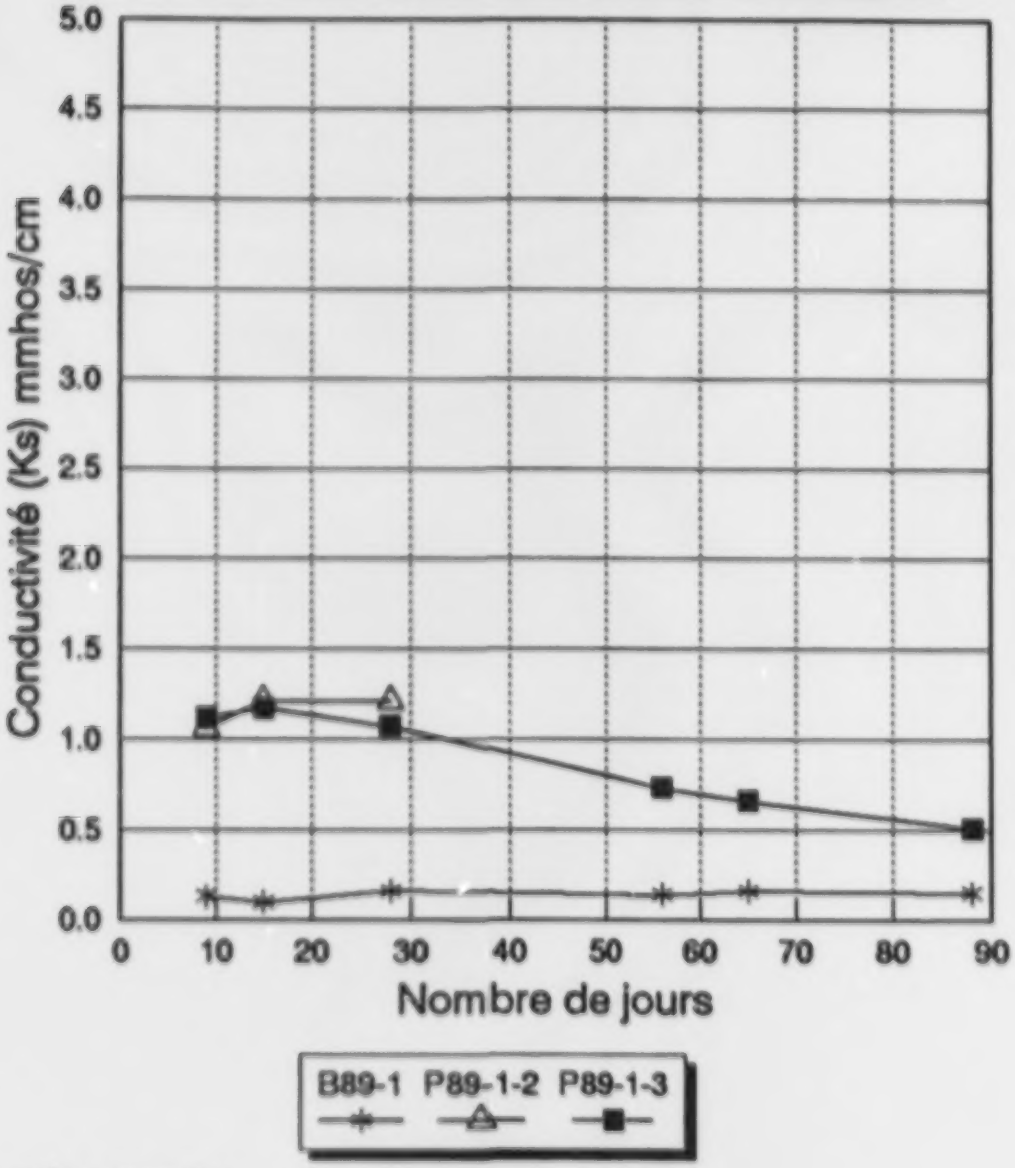


cercle: [illegible]
triangle: milieu non-oxydé

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

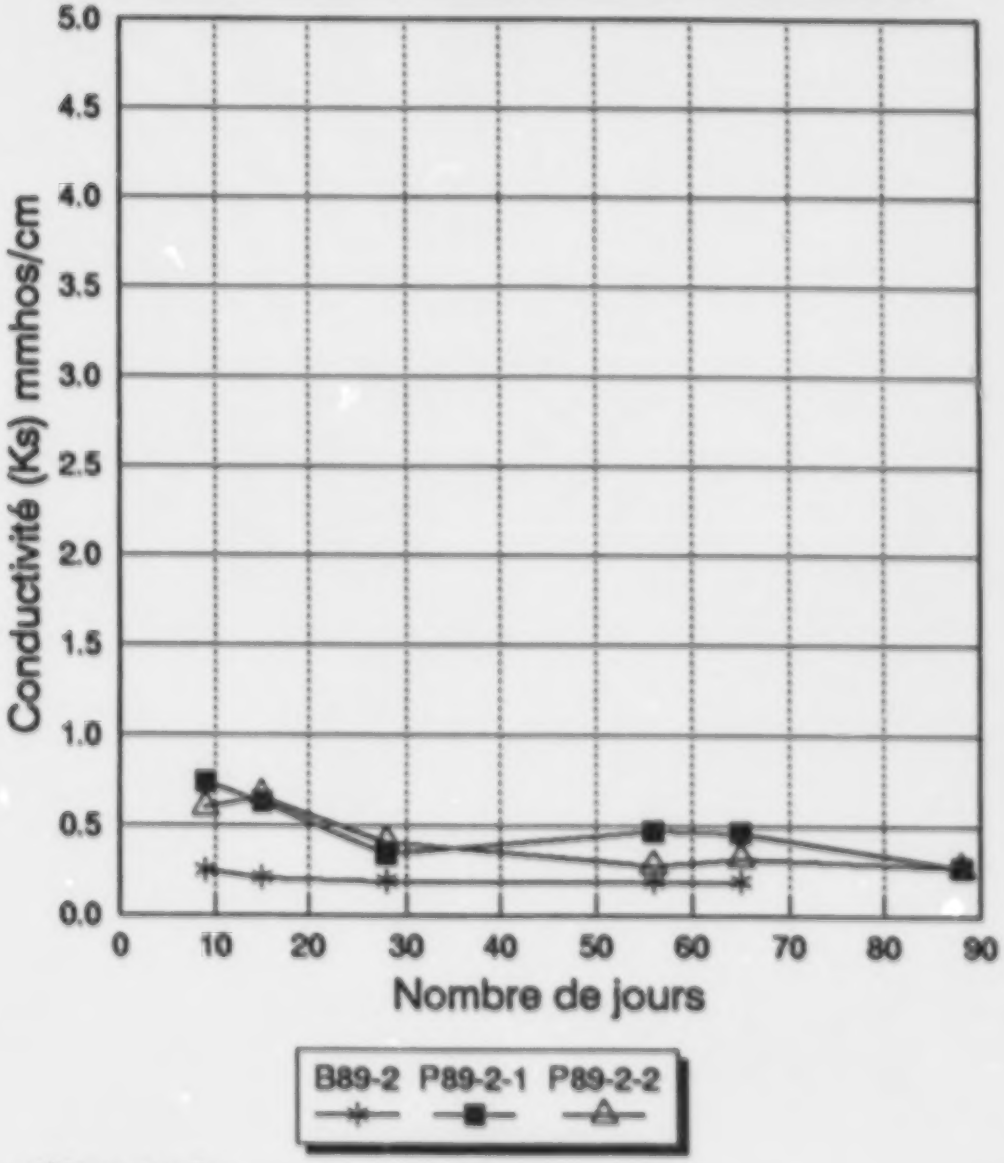
PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-153)

ÉVOLUTION DE LA CONDUCTIVITÉ DANS LE BASSIN 89-1



astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé
carré: milieu oxydé

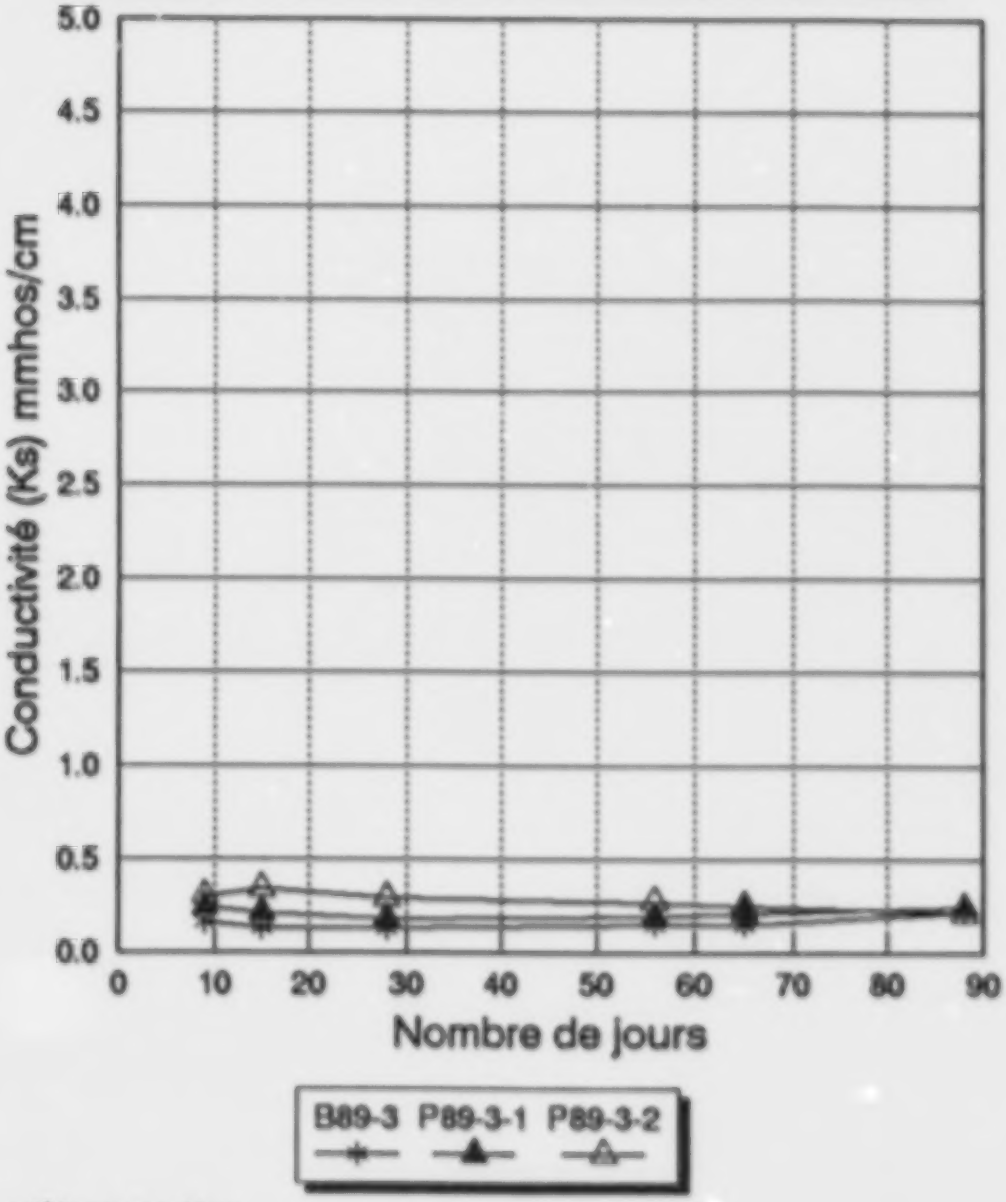
ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES
PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HQ-153)
ÉVOLUTION DE LA CONDUCTIVITÉ DANS LE BASSIN 89-2



astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé
carré: milieu oxydé

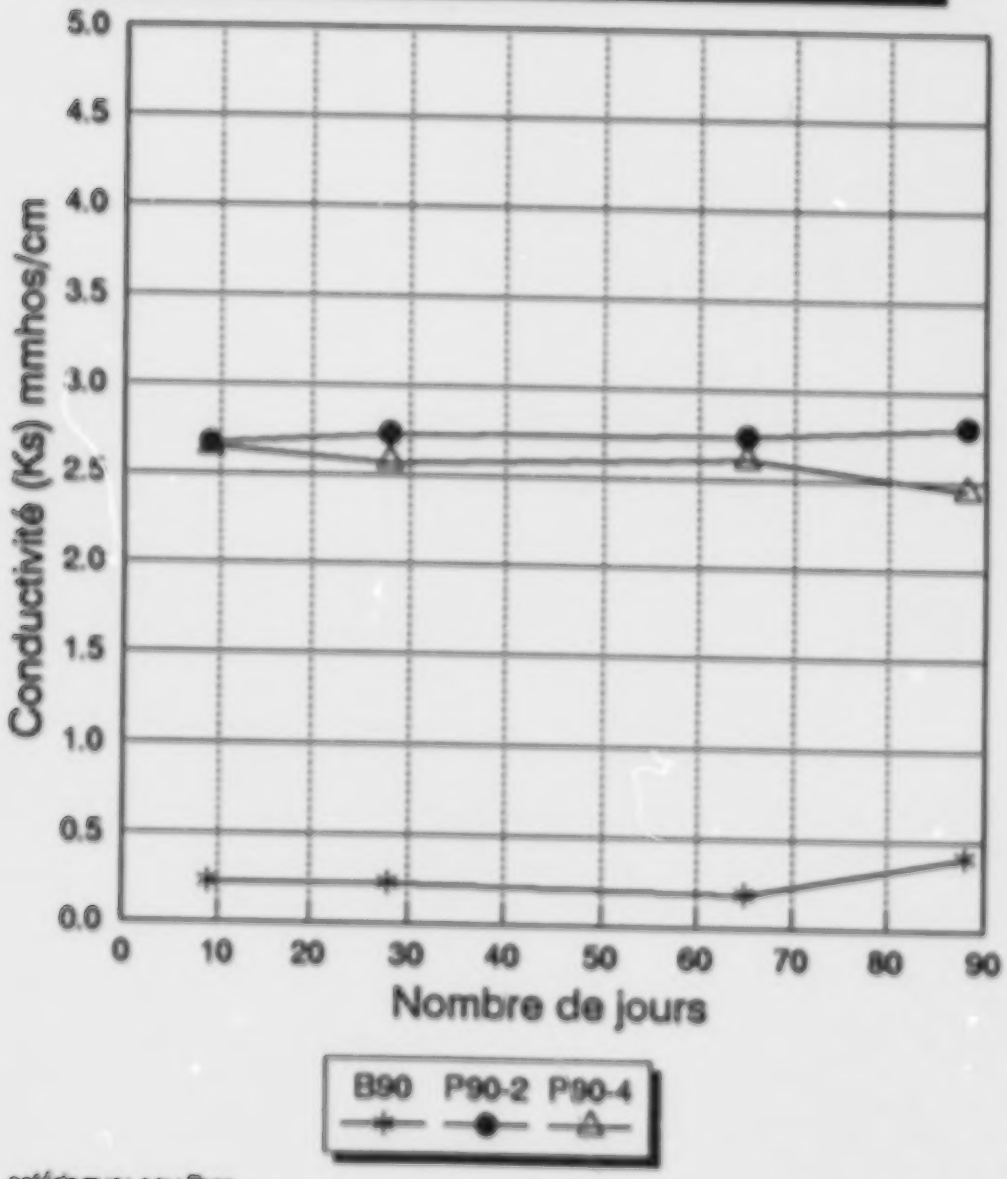
ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-153)
ÉVOLUTION DE LA CONDUCTIVITÉ DANS LE BASSIN 89-3



astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES
PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-153)
ÉVOLUTION DE LA CONDUCTIVITÉ DANS LE BASSIN 90

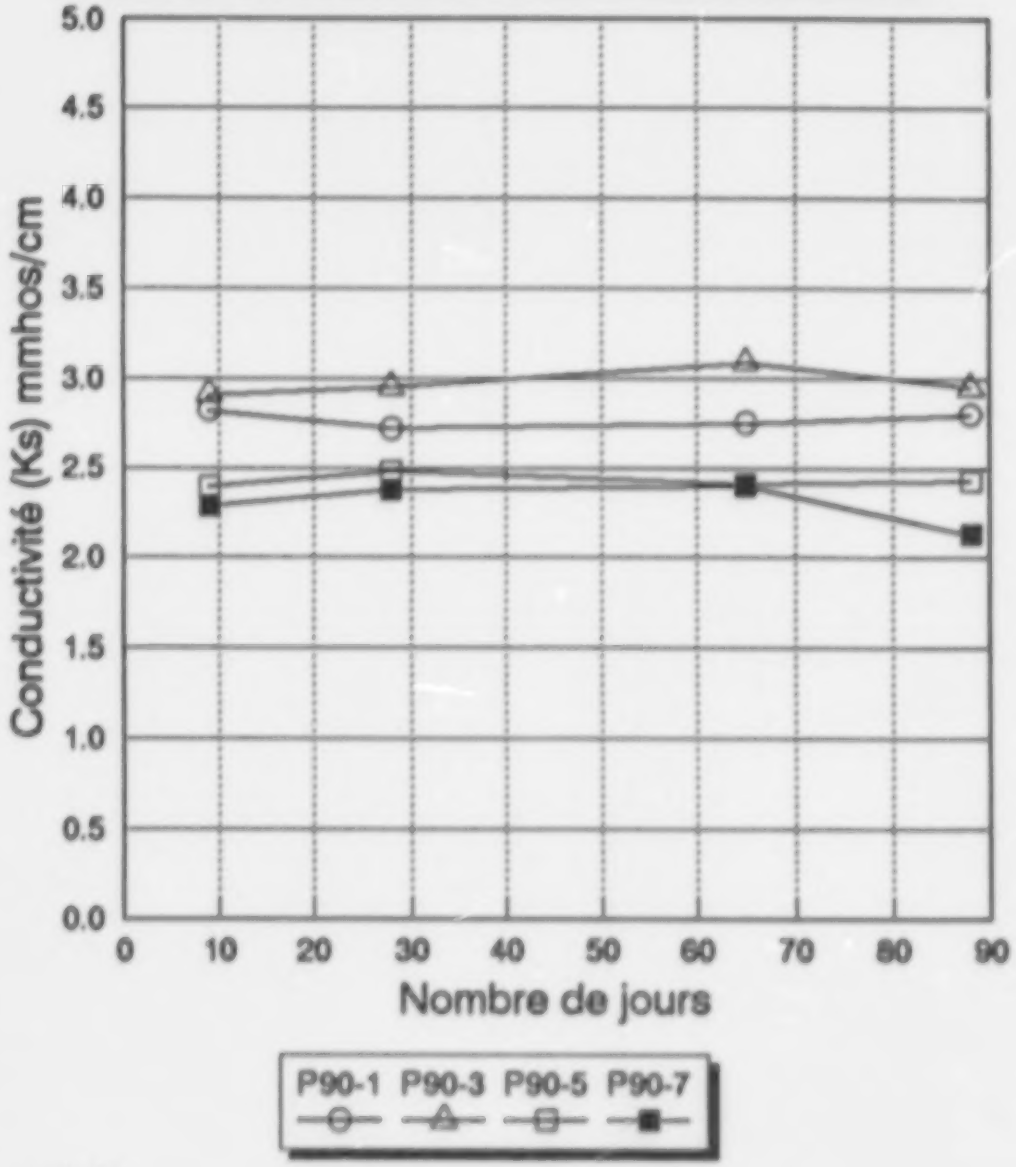


astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé
cercle: ■

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-153)

ÉVOLUTION DE LA CONDUCTIVITÉ DANS LE BASSIN 90

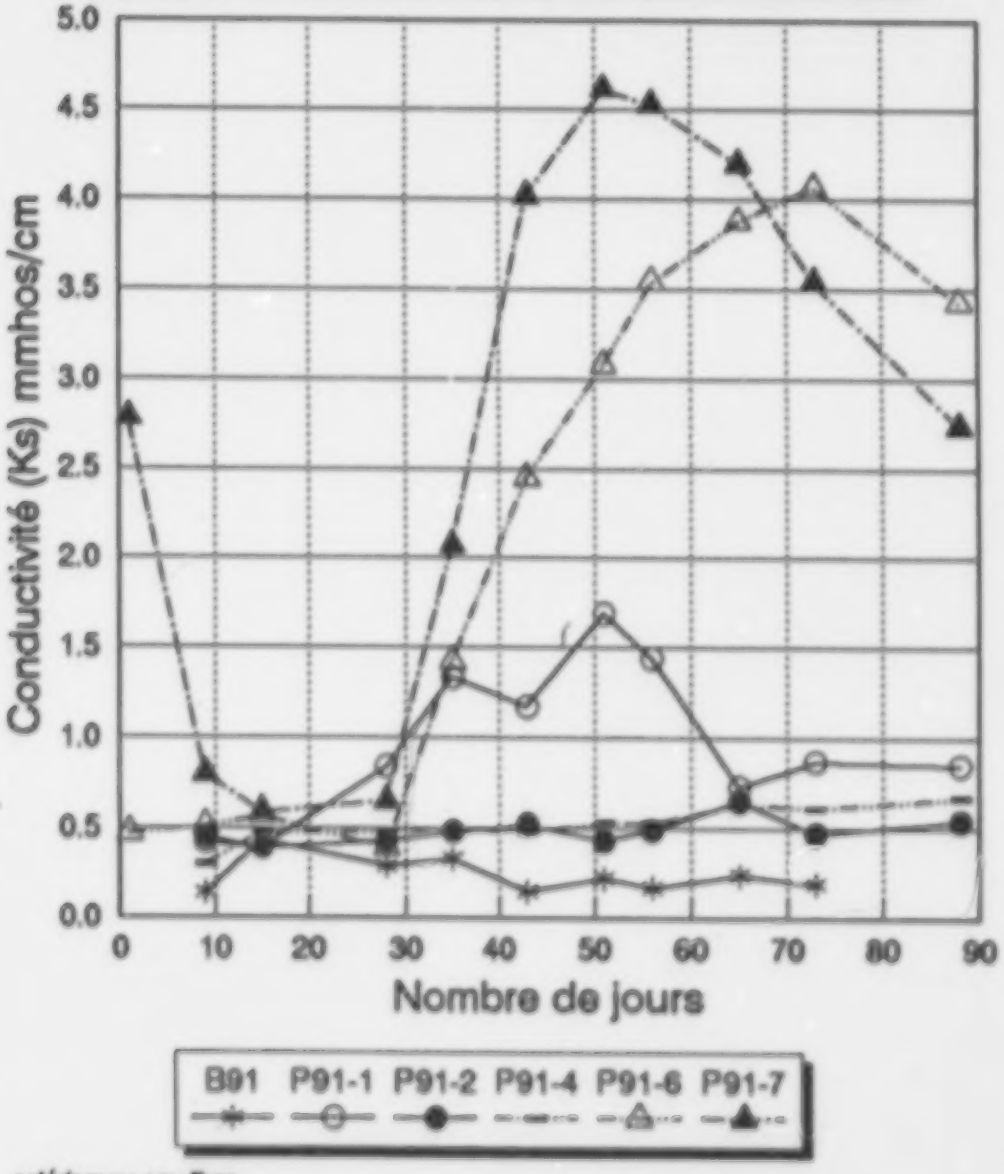


cercle: til
triangle: milieu non-oxydé
carré: milieu oxydé

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HQ-163)

ÉVOLUTION DE LA CONDUCTIVITÉ DANS LE BASSIN 91

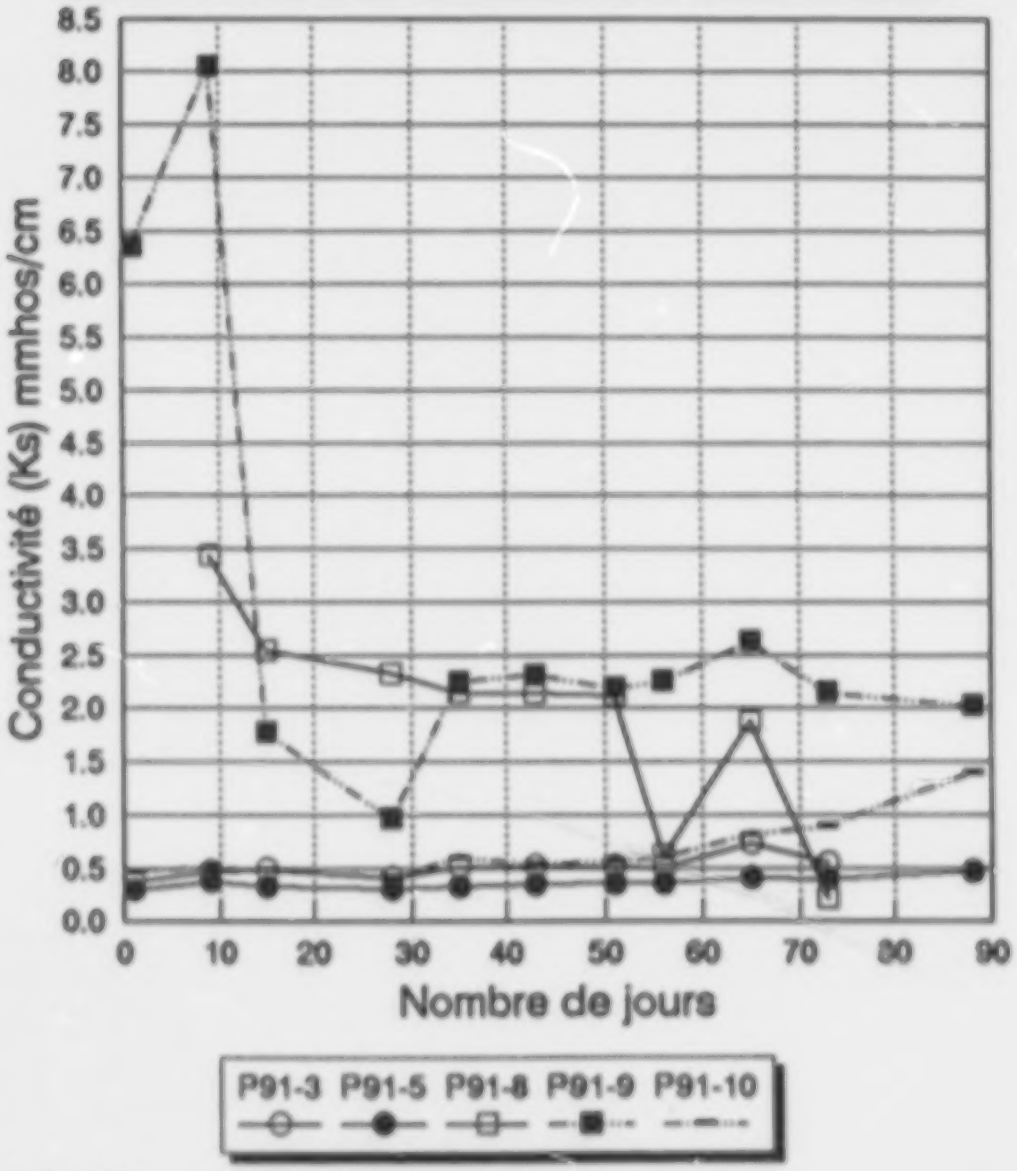


astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé
cercle: till; trait: tourbe

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

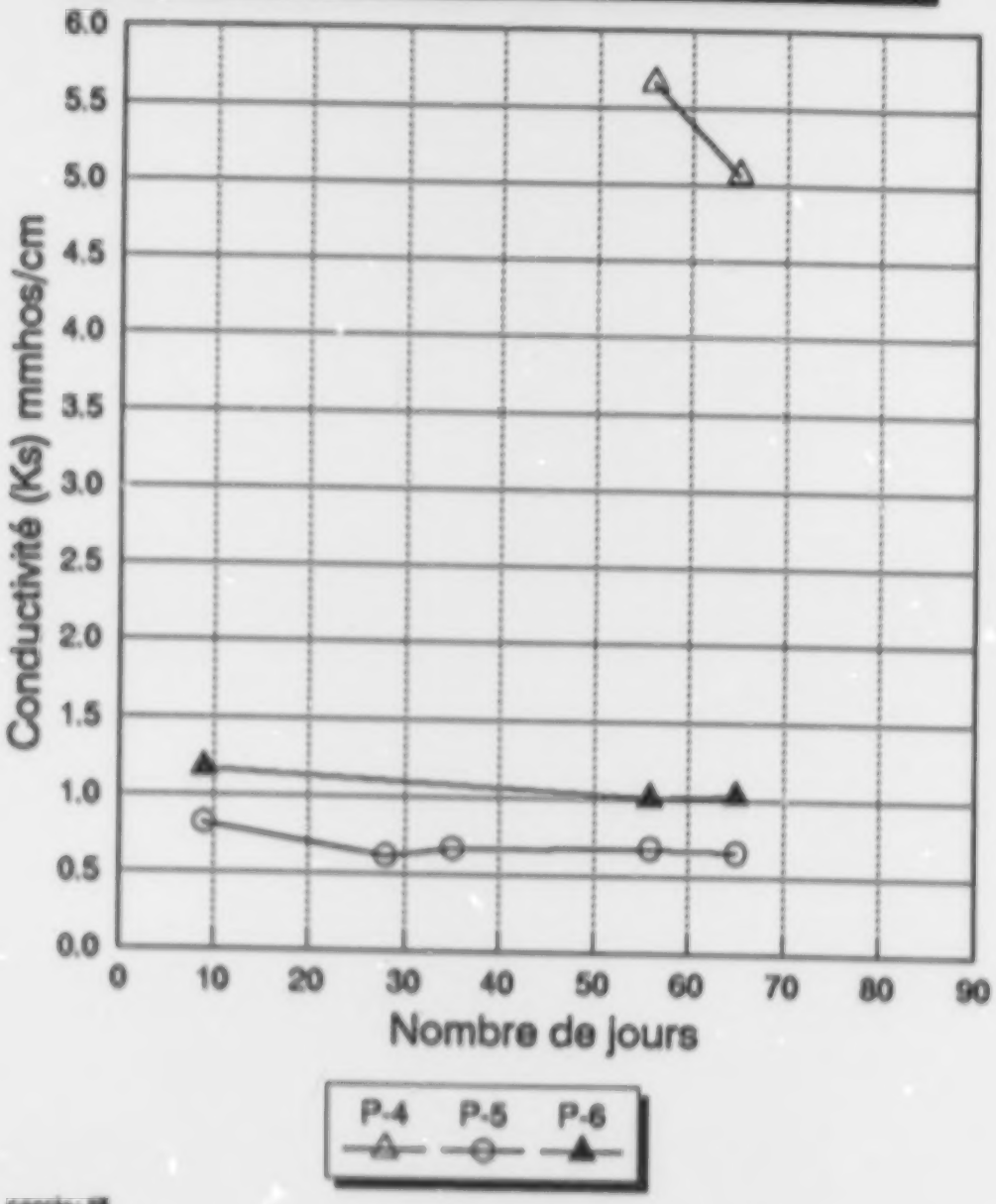
PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-153)

ÉVOLUTION DE LA CONDUCTIVITÉ DANS LE BASSIN 91



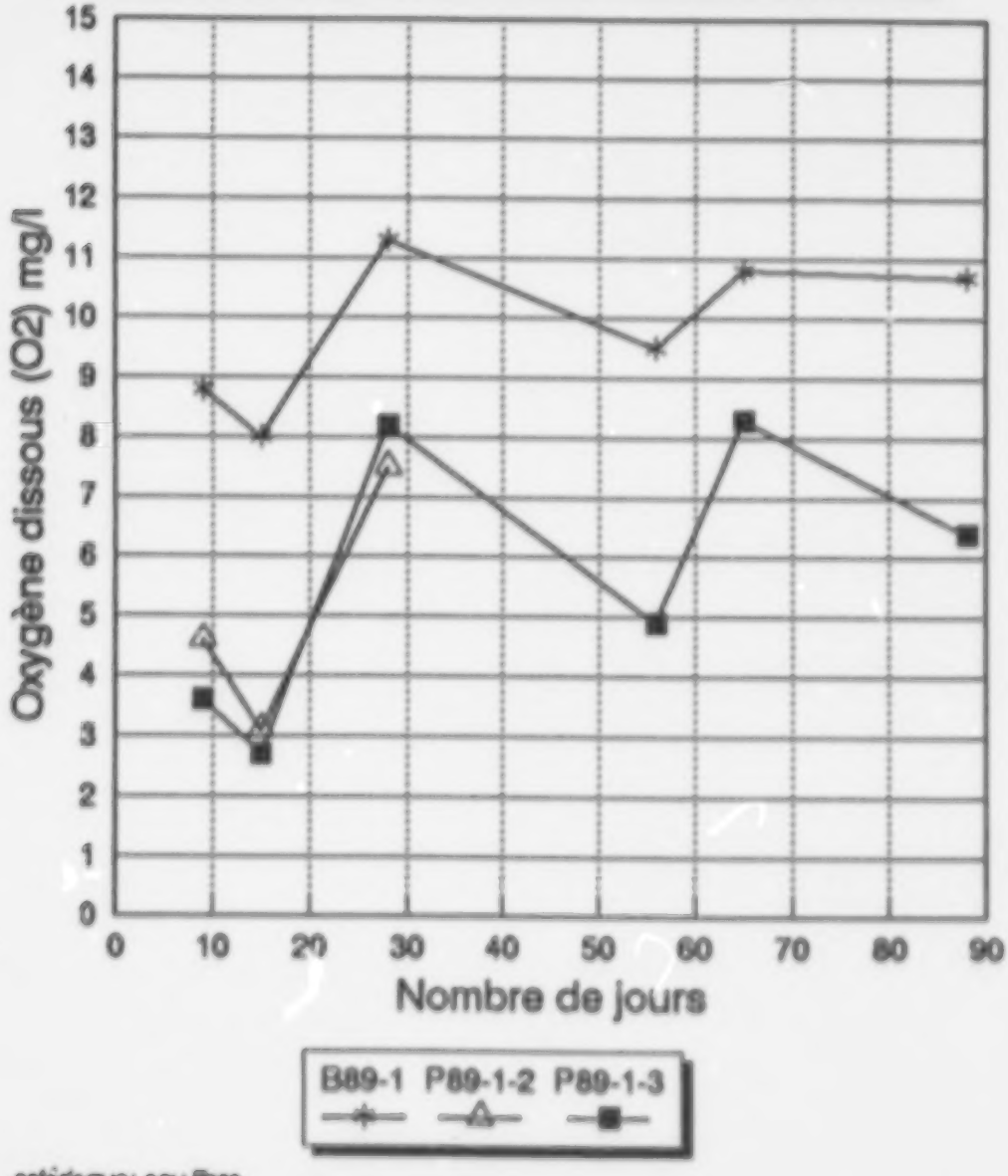
trait: tourbe
carré: milieu oxydé
cercle: ■

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES
PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-153)
ÉVOLUTION DE LA CONDUCTIVITÉ DANS LES P 4-5 ET 6



cercle: tê
triangle: milieu non-oxydé

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES
PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HQ-163)
ÉVOLUTION DE L'OXYGENE DANS LE BASSIN 89-1

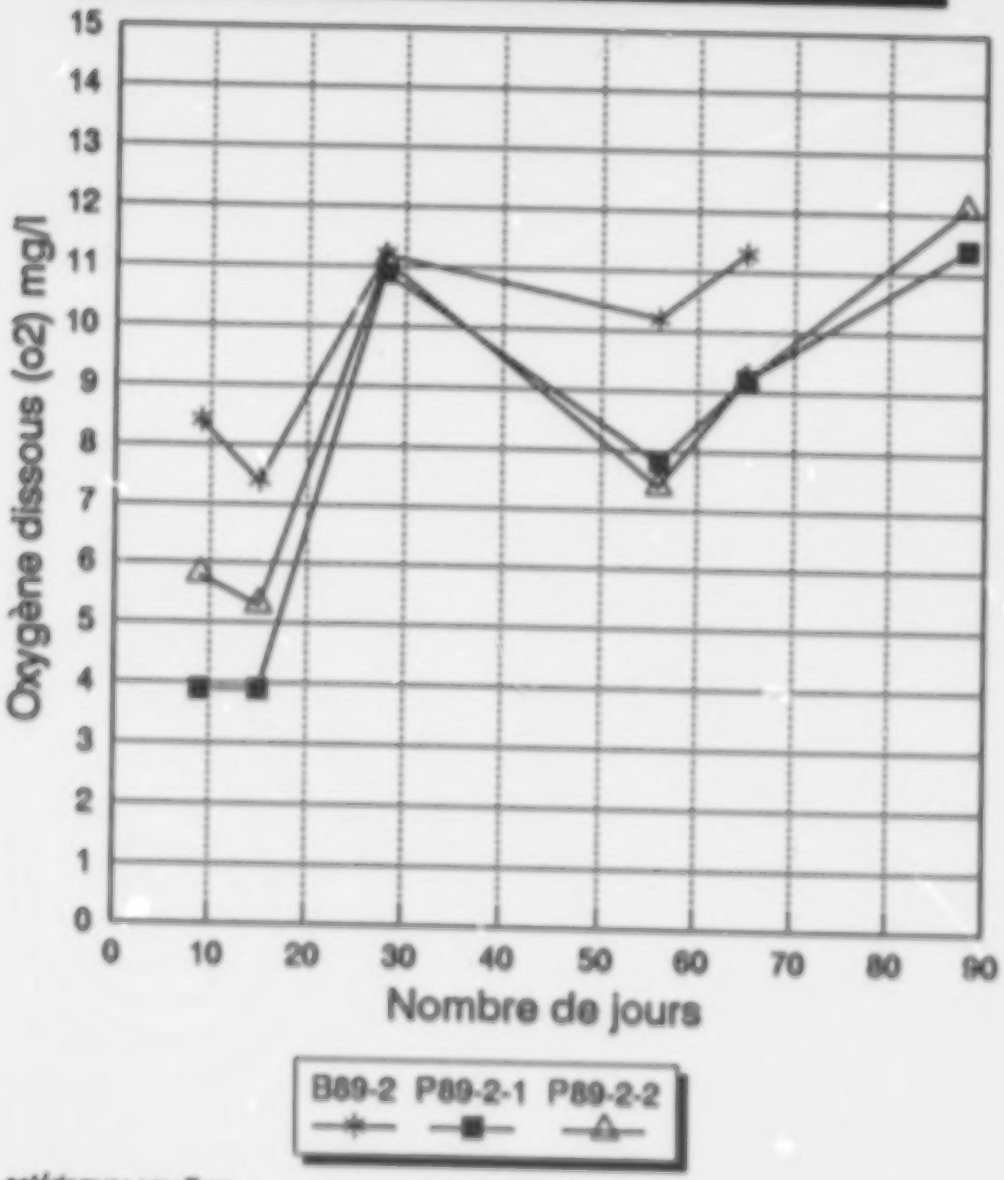


astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé
carré: milieu oxydé

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-153)

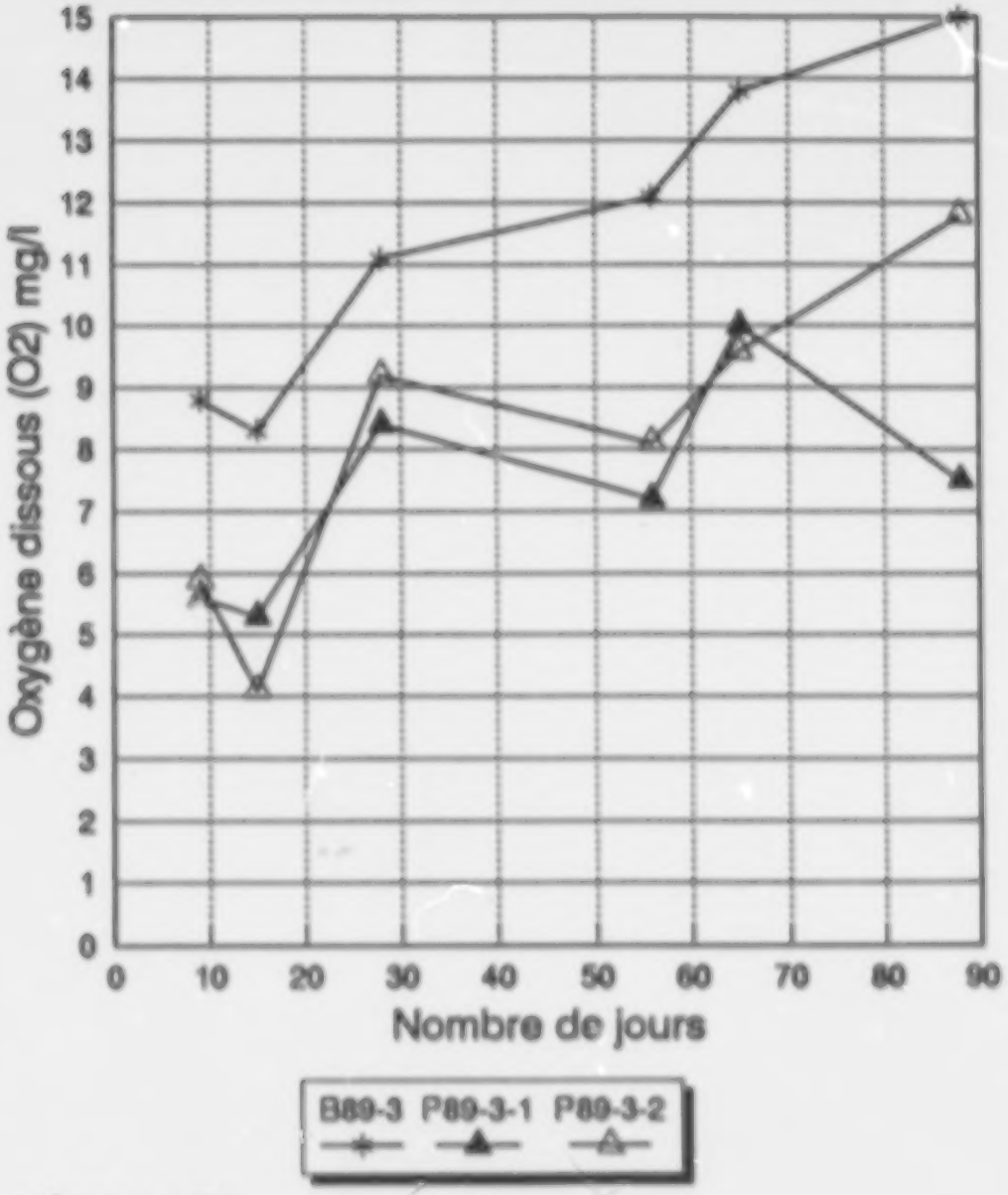
ÉVOLUTION DE L'OXYGENE DANS LE BASSIN 89-2



astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé
carré: milieu oxydé

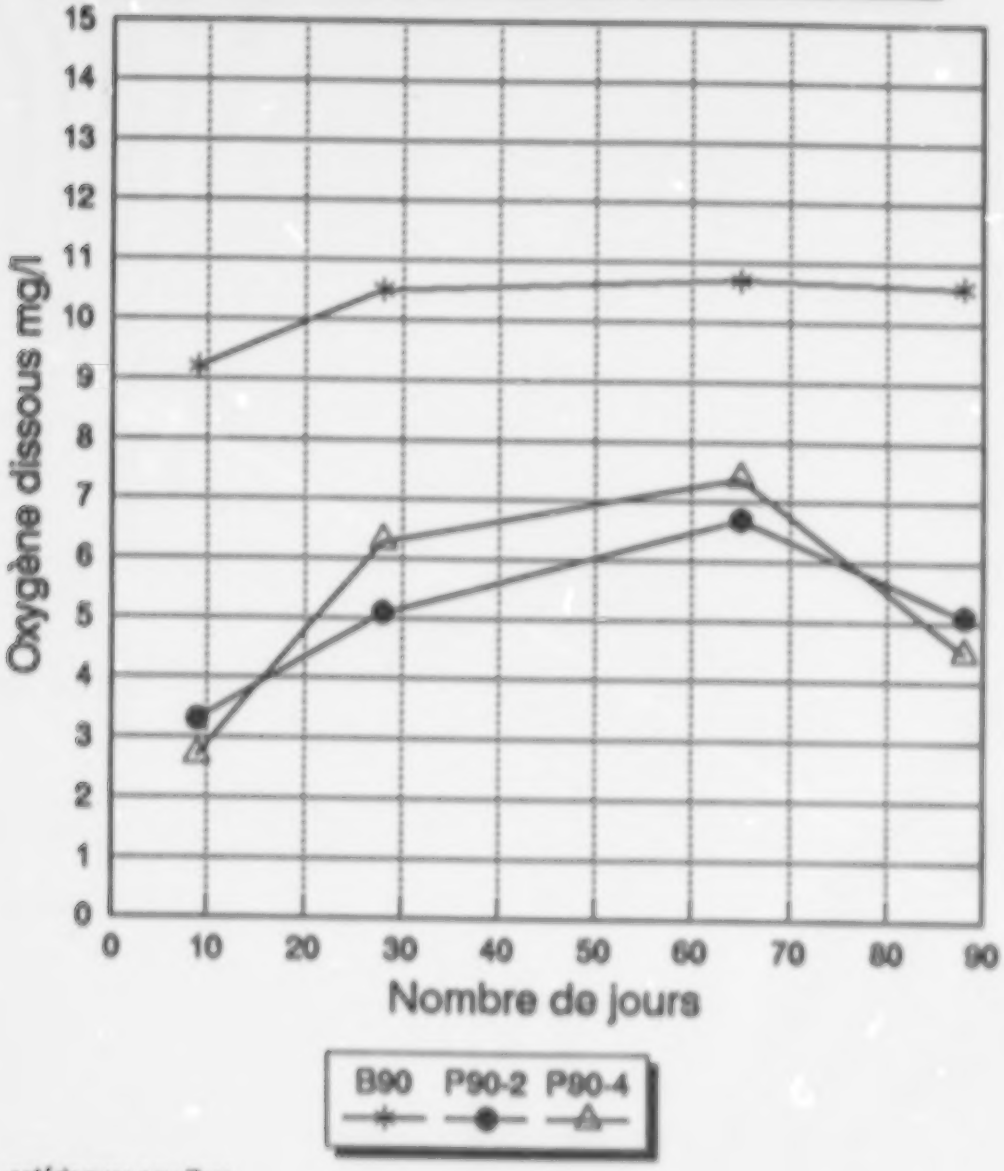
ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-183)
ÉVOLUTION DE L'OXYGENE DANS LE BASSIN 89-3



astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES
PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HQ-183)
ÉVOLUTION DE L'OXYGENE DANS LE BASSIN 90

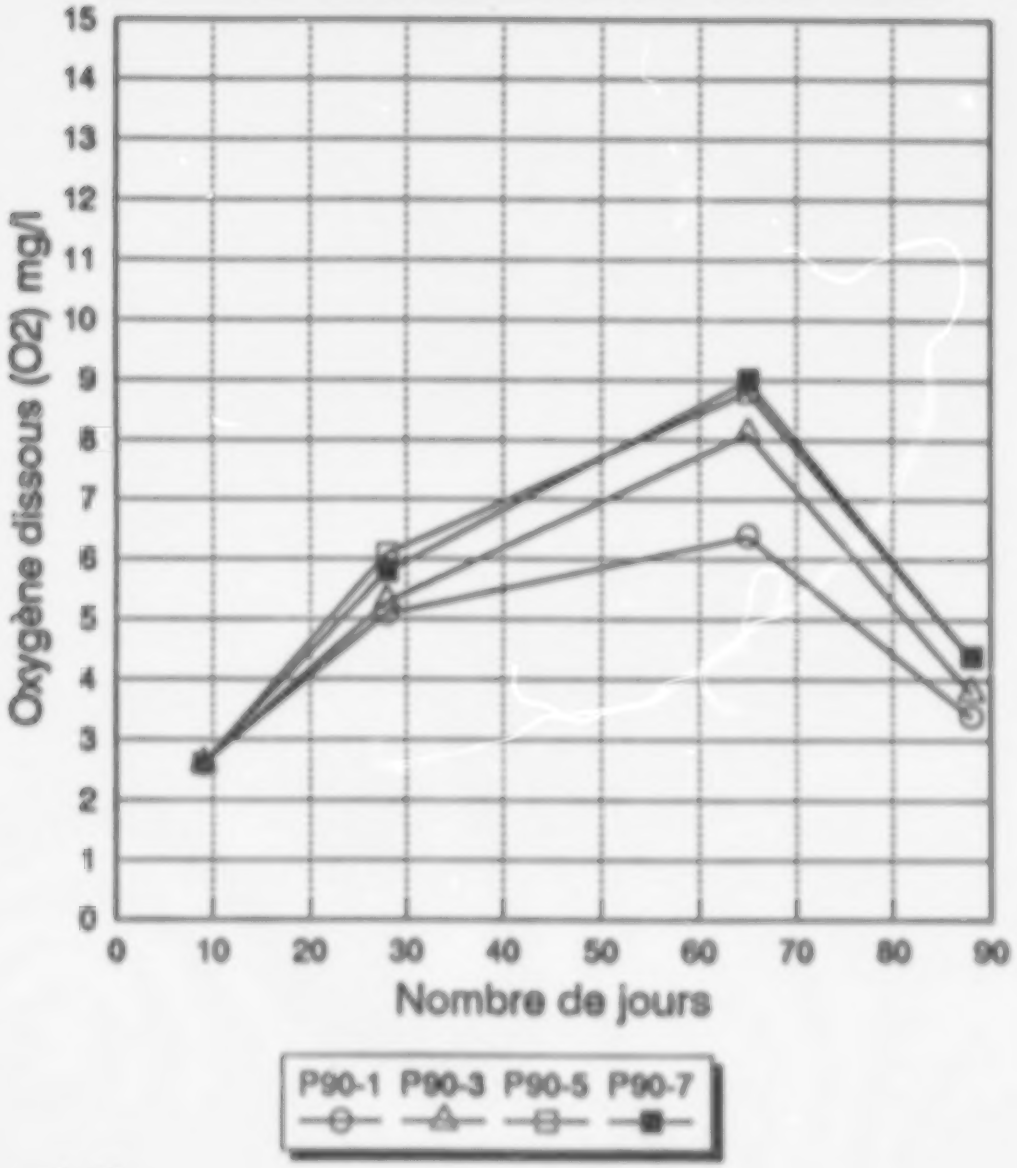


astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé
cercle: til

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-153)

ÉVOLUTION DE L'OXYGENE DANS LE BASSIN 90



cercle: ■

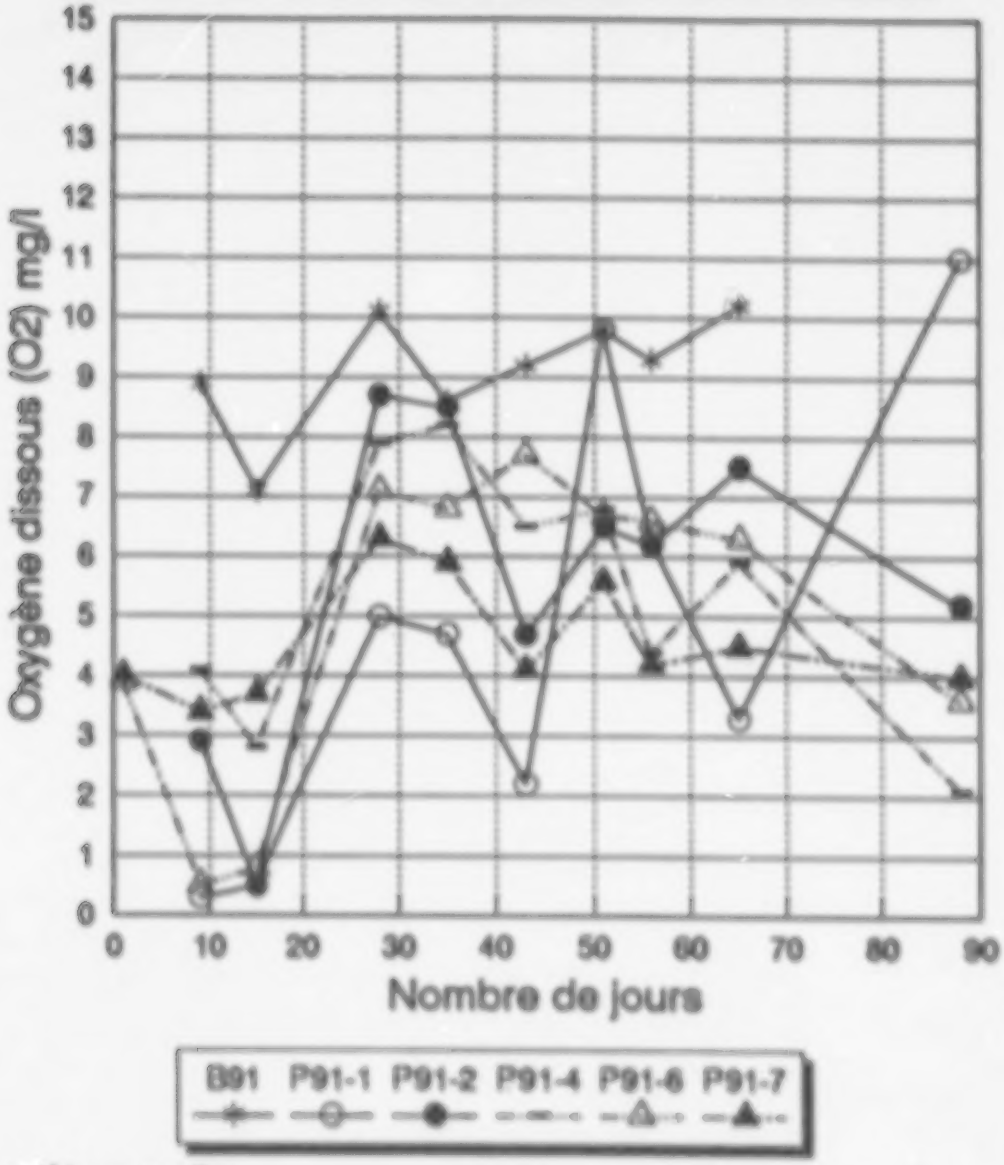
triangle: milieu non-oxydé

carré: milieu oxydé

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-168)

ÉVOLUTION DE L'OXYGENE DANS LE BASSIN 91

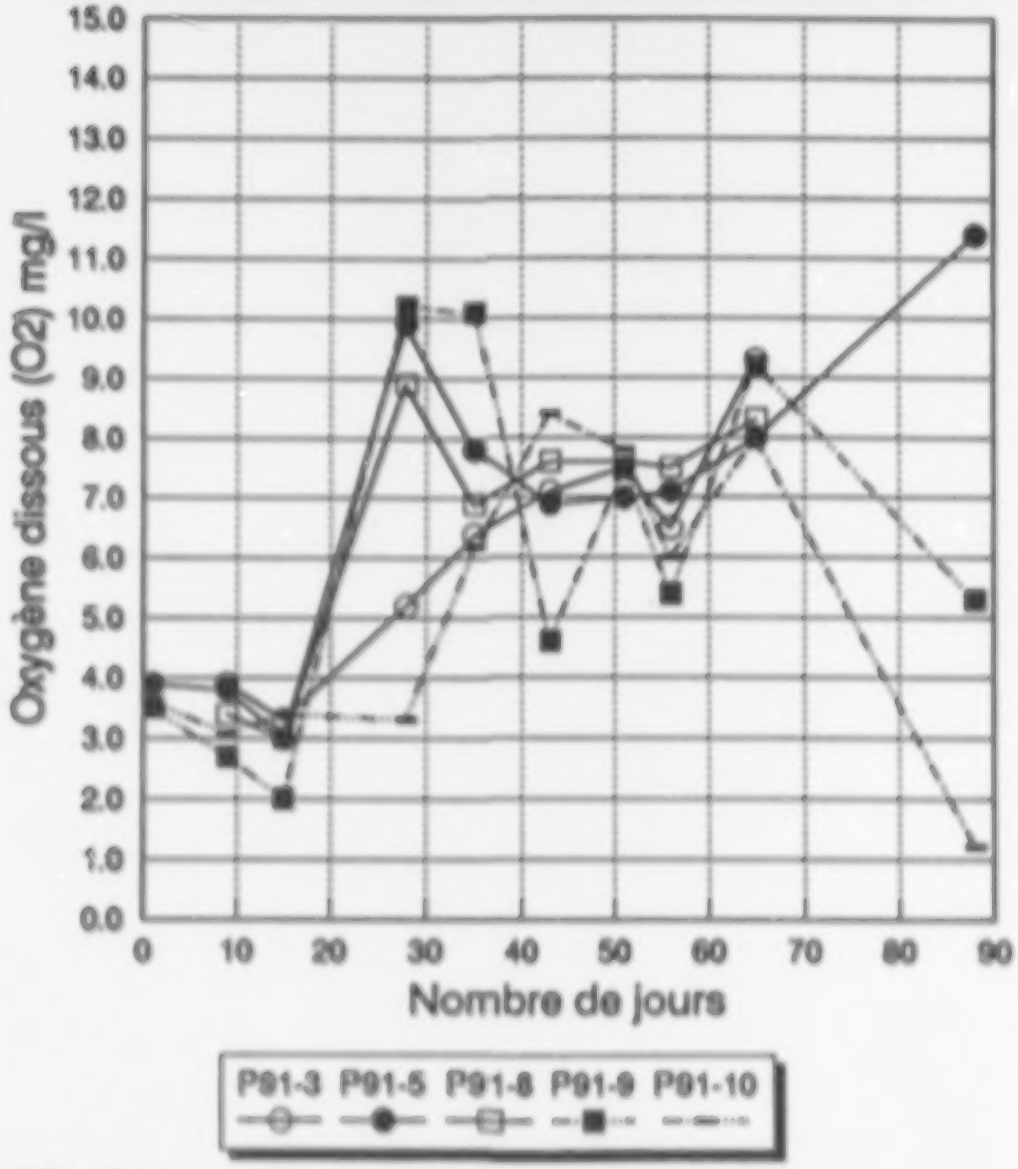


astérisque: eau libre
triangle: milieu non-oxydé
cercle: lit; trait: tourbe

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-153)

ÉVOLUTION DE L'OXYGENE DANS LE BASSIN 91

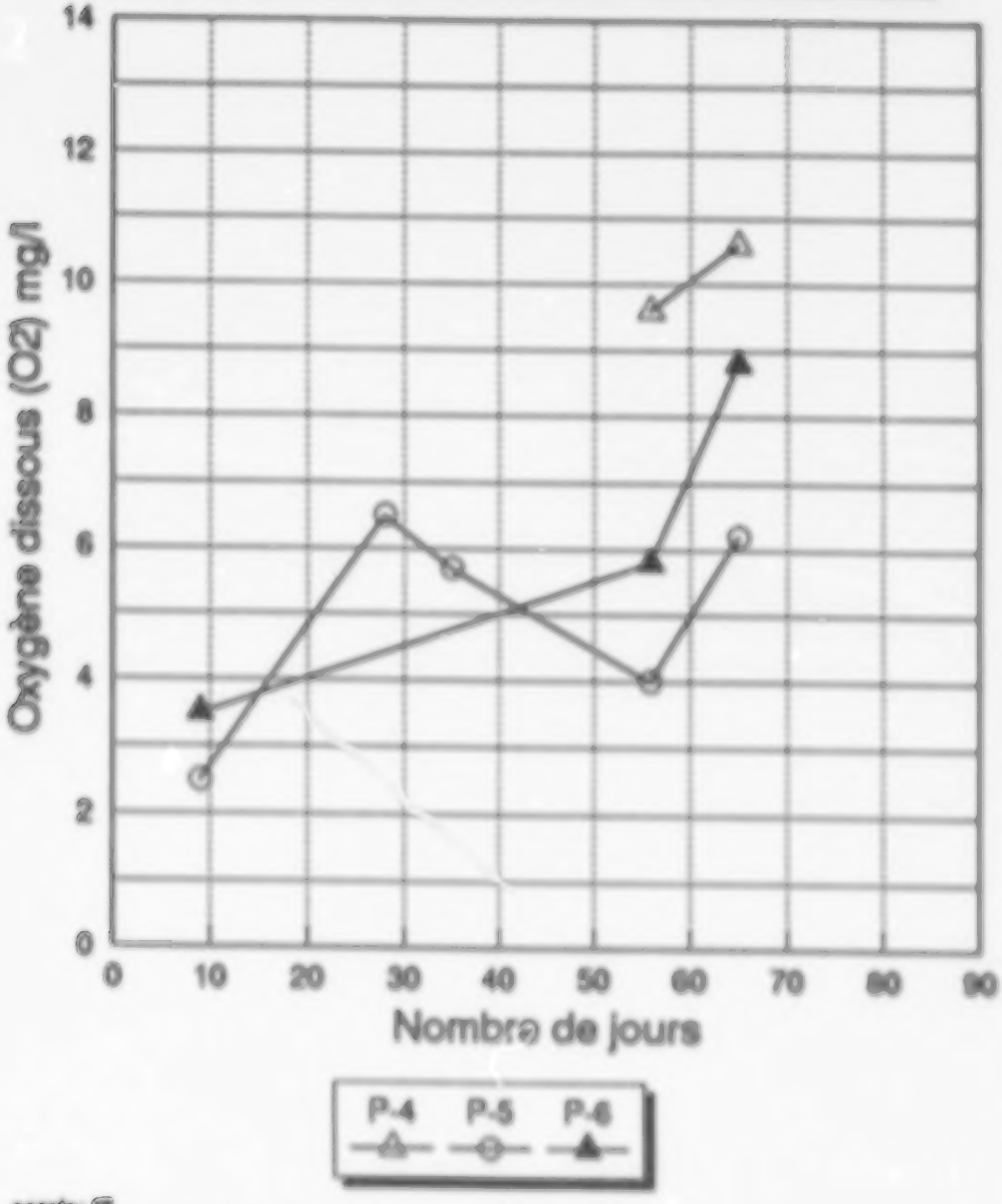


trait: tourbe
carré: milieu oxydé
cercle: ⊞

ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

PARC A RÉSIDUS MINIERS SOLBEC-CUPRA (HG-183)

ÉVOLUTION DE L'OXYGENE DANS LES PIÉZO 4-5 ET 6



cercle: fil

triangle: milieu non-oxydé

APPENDICE B

CERTIFICATS D'ANALYSE

MONTERVAL

LAB-ELITE LTEE LTD

Montréal, le 16 décembre 1991

MONTERVAL
3245, Grande Allée
Boisbriand, Qc
J7H 1E4

A/S: M. Robert Morin

RE: ANALYSES CHIMIQUES

VOTRE PROJET: MQ-153
NOM: Solbec-Cupra
NATURE DES ECHANTILLONS: Eaux
DATE RECU: 05 nov 1991

PARAMETRES	METHODE	LIMITE DE DETECTION	690-1	690-2	690-3	690-4	690-5	690-7
Alcalinité	403	1	98	95	22	19	<1	11
Cyanures Totaux	412 B-E	0.02	0.35	0.17	0.08	<0.02	0.09	0.04
Cyanures Disponibles	412 E	0.02	0.29	0.11	0.04	<0.02	<0.02	0.03
Dureté Totales	313 B	2	360	280	260	210	209	209
Sulfates	426 C	5	1257	1401	1221	1119	1205	1061
Arsenic	303 E	0.005	<0.005	<0.005	0.006	<0.005	<0.005	<0.005
Calcium	303 A	0.1	70.4	70.4	83.2	67.6	71.0	72.1
Cadmium	303 A	0.001	<0.001	<0.001	0.007	<0.001	<0.001	<0.001
Chrome	303 A	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	<0.01
Cuivre	303 A	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Magnésium	303 A	0.05	43.8	24.5	12.9	9.8	7.6	7.1
Mercure	303 F	0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Nickel	303 A	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Plomb	303 A	0.01	0.05	0.04	0.05	<0.01	0.02	0.03
Zinc	303 A	0.05	<0.05	<0.05	0.79	<0.05	0.16	<0.05
Fer	303 A	0.05	0.31	0.22	68.4	2.71	10.6	0.21

Tous les résultats sont exprimés en mg/l.

LAB ELITE LTEE

DOMENIC ZICCARDI, CHIM. P.

LAB-ELITE LTEE

Montréal, le 16 décembre 1991

MONTERVAL
3245, Grande Allée
Boisbriand, Qc
J7H 1E4

A/S: M. Robert Morin

RE: ANALYSES CHIMIQUES

VOTRE PROJET: MG-153
NOM: Solbec-Cupra
NATURE DES ECHANTILLONS: Eaux
DATE RECU: 05 nov 1991

PARAMETRES	METHODE	LIMITE DE DETECTION	089-1-2	089-1-3	089-2-1	089-2-2	089-3-1
Alcalinité	403	1	75	<1	<1	84	56
Cyanures Totaux	412 B-E	0.02	<0.02	<0.02	---	---	<0.02
Cyanures Disponibles	412 E	0.02	<0.02	<0.02	---	---	<0.02
Dureté Totales	313 B	2	208	173	51	111	55
Sulfates	426 C	5	507	403	136	143	35
Arsenic	303 E	0.005	<0.005	0.007	0.214	<0.005	<0.005
Calcium	303 A	0.1	71.0	56.4	18.6	28.7	13.9
Cadmium	303 A	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Chrome	303 A	0.01	<0.01	0.04	0.09	<0.01	<0.01
Cuivre	303 A	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Magnésium	303 A	0.05	7.5	7.8	6.0	9.5	4.6
Mercure	303 F	0.0002	<0.0002	0.0004	0.0006	<0.0002	<0.0002
Nickel	303 A	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Plomb	303 A	0.01	<0.01	0.03	0.47	<0.01	<0.01
Zinc	303 A	0.05	<0.05	0.65	0.20	<0.05	<0.05
Fer	303 A	0.05	0.24	1.27	0.78	0.08	<0.05

Tous les résultats sont exprimés en mg/l.

LAB ELITE LTEE

DOMENIC ZICCARDI, CHIM. P.

LAB-ELITE LTEE

Montréal, le 16 décembre 1991

MONTERVAL
3245, Grande Allée
Boisbriand, Qc
J7H 1E4

A/S: M. Robert Morin

RE: ANALYSES CHIMIQUES

VOTRE PROJET: HQ-153
NOM: Solbec-Cupra
NATURE DES ECHANTILLONS: Eaux
DATE RECU: 05 nov 1991

PARAMETRES	METHODE	LIMITE DE DETECTION	889-3-2	891-1	891-4	891-5	891-6
Alcalinité	403	1	1000	1730	671	165	1778
Cyanures Totaux	412 B-E	0.02	<0.02	<0.02	---	---	---
Cyanures Disponibles	412 E	0.02	<0.02	<0.02	---	---	---
Dureté Totales	313 B	2	79	192	175	106	1204
Sulfates	426 C	5	63	181	93	34	1364
Arsenic	303 E	0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Calcium	303 A	0.1	20.6	51.9	46.4	25.1	138
Cadmium	303 A	0.001	<0.001	<0.001	0.004	<0.001	0.004
Chrome	303 A	0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.02
Cuivre	303 A	0.02	<0.02	<0.02	0.03	<0.02	0.02
Magnésium	303 A	0.05	6.7	15.1	14.3	10.4	338
Mercure	303 F	0.0002	<0.0002	<0.0002	0.0004	<0.0002	<0.0002
nickel	303 A	0.01	<0.01	<0.01	0.03	<0.01	0.01
Plomb	303 A	0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.03
Zinc	303 A	0.05	<0.05	0.09	0.54	<0.05	0.22
Fer	303 A	0.05	<0.05	0.09	0.11	0.16	2.11

Tous les résultats sont exprimés en mg/l.

LAB ELITE LTEE

Dominic Ziccardi

DOMENIC ZICCARDI, CHIM. P.

LAB-ELITE LTEE

Montréal, le 16 décembre 1991

MONTERVAL
3245, Grande Allée
Boisbriand, Qc
J7H 1E4

A/S: M. Robert Marin

RE: ANALYSES CHIMIQUES

VOTRE PROJET: HQ-153
NOM: Solbec-Cupra
NATURE DES ECHANTILLONS: Eaux
DATE RECU: 05 nov 1991

PARAMETRES	METHODE	LIMITE DE DETECTION	891-7	891-8	891-9	891-10	P-5	P-6
Alcalinité	403	1	950	<1	<1	593	304	450
Cyanures Totaux	412 B-E	0.02	---	---	---	---	<0.02	<0.02
Cyanures Disponibles	412 E	0.02	---	---	---	---	<0.02	<0.02
Dureté Totales	313 B	2	1402	210	225	172	267	220
Sulfates	426 C	5	1410	1239	1076	104	32	77
Arsenic	303 E	0.005	0.007	0.016	0.009	0.011	<0.005	<0.005
Calcium	303 A	0.1	154	69.3	72.1	46.4	19.9	15.6
Cadmium	303 A	0.001	<0.001	0.024	0.006	0.004	<0.001	<0.001
Chrome	303 A	0.01	0.04	0.09	0.07	0.14	<0.01	<0.01
Cuivre	303 A	0.02	<0.02	12.6	3.0	0.38	<0.02	<0.02
Magnésium	303 A	0.05	247	9.1	10.8	13.7	17.3	44
Mercure	303 F	0.0002	0.0004	0.0011	0.0006	0.0004	<0.0002	<0.0002
Nickel	303 A	0.01	0.02	0.05	0.05	0.03	<0.01	<0.01
Plomb	303 A	0.01	0.03	1.54	0.54	<0.01	<0.01	<0.01
Zinc	303 A	0.05	0.15	2.75	1.09	0.77	<0.05	<0.05
Fer	303 A	0.05	3.19	1.76	0.76	0.11	0.17	0.14

Tous les résultats sont exprimés en mg/l.

LAB ELITE LTEE

Dominic Ziccardi

DOMINIC ZICCARDI, CHIM. P.

CERTIFICATS DES ANALYSES D'EAU

(OCTOBRE 1991)

LAB-ELITE LTEE

Montréal, le 20 décembre 1991

MONTERVAL
3245, Grande Allée
Boisbriand, Qc
J7H 1E4

A/S: M. Robert Morin

RE: ANALYSES CHIMIQUES

VOTRE PROJET: HQ-153
NOM: Solbec-Cupra
NATURE DES ECHANTILLONS: Eaux
DATE RECU: 13 nov 1991

PARAMETRES	METHODE	LIMITE DE DETECTION	881-1	881-4	881-5	881-7	8-91-6	881-9
Alcalinité	403	1	9	229	164	114	253	9
Cyanures Totaux	412 B-E	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Cyanures Disponibles	412 E	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Dureté totales	313 B	2	930	343	190	2796	2002	1688
Sulfates	426 C	5	328	144	71	2183	1354	917
Arsenic	303 E	0.005	0.009	<0.005	<0.005	0.008	<0.005	<0.005
Calcium	303 A	0.1	418	106	58	631	465	674
Cadmium	303 A	0.001	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Chrome	303 A	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cuivre	303 A	0.02	0.08	0.02	<0.02	<0.02	0.04	0.32
Magnésium	303 A	0.05	26.5	18.9	11.1	296	284	0.02
Mercure	303 F	0.0002	0.0006	<0.0002	<0.0002	0.0009	0.0003	<0.0002
Nickel	303 A	0.01	0.05	<0.01	<0.01	0.02	0.06	0.03
Plomb	303 A	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.09
Zinc	303 A	0.05	2.25	0.57	<0.05	0.34	1.45	0.43
Fer	303 A	0.05	0.20	0.13	0.15	0.26	0.21	27.2

Tous les résultats sont exprimés en mg/l.

NOTE: * Pas assez d'échantillon.

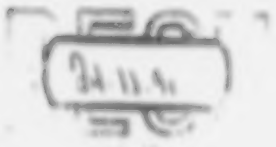
LAB ELITE LTEE

DOMINIC ZIOGAS, CHIM. P.

LAB-ELITE LTÉE

Montréal, le 20 décembre 1991

MONTERVAL
3245, Grande Allée
Boisbriand, Qc
J7H 1E4



A/S: M. Robert Morin

RE: ANALYSES CHIMIQUES

VOTRE PROJET: HQ-153
NOM: Solbec-Cupra
NATURE DES ECHANTILLONS: Eaux
DATE RECU: 13 nov 1991

PARAMETRES	METHODE	LIMITE DE DETECTION	891-8	891-10	889-1-3	889-2-1	889-2-2
Alcalinité	403	1	<1	291	<1	<1	49
Cyanures totaux	412 B-E	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Cyanures Disponibles	412 E	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Dureté totales	313 B	2	950	408	296	95	272
Sulfates	426 C	5	155	355	277	149	95
Arsenic	303 E	0.005	0.019	<0.005	0.007	0.008	<0.005
Calcium	303 A	0.1	374	122	106	28.8	47.1
Cadmium	303 A	0.001	0.026	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Chrome	303 A	0.01	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cuivre	303 A	0.02	17.1	0.05	0.10	0.03	<0.02
Magnésium	303 A	0.05	5.6	25	5.1	6.9	8.3
Mercure	303 F	0.0002	0.0016	0.0004	<0.0002	0.0009	<0.0002
Nickel	303 A	0.01	0.06	0.02	0.01	<0.01	<0.01
Plomb	303 A	0.01	2.54	<0.01	0.03	0.32	<0.01
Zinc	303 A	0.05	2.51	0.72	0.58	0.21	0.08
Fer	303 A	0.05	1.21	0.06	2.0	0.05	0.05

Tous les résultats sont exprimés en mg/l.

LAB ELITE LTEE

DOMENIC ZICCARDI, CHIM. P.

LAB-ELITE LTEE

Montréal, le 2u décembre 1991

MONTERVAL
3245, Grande Allée
Boisbriand, Qc
J7H 1E4

A/S: M. Robert Morin

RE: ANALYSES CHIMIQUES

VOTRE PROJET: HQ-153
NOM: Solbec-Cupra
NATURE DES ECHANTILLONS: Eaux
DATE RECU: 13 nov 1991

PARAMETRES	METHODE	LIMITE DE DETECTION	890-1	890-2	890-3	890-4	890-5	890-7
Alcalinité	403	1	96	68	<1	3.1	<1	4.6
Cyanures Totaux	412 B-E	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Cyanures Disponibles	412 E	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Dureté Totales	313 B	2	1930	2050	1270	1705	1880	1826
Sulfates	426 C	5	1554	1222	1298	1165	1222	1290
Arsenic	303 E	0.005	0.006	<0.005	0.012	0.007	0.013	<0.005
Calcium	303 A	0.1	723	786	492	696	741	719
Cadmium	303 A	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Chrome	303 A	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cuivre	303 A	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Magnésium	303 A	0.05	32.2	28.6	11.6	11.6	9.0	7.0
Mercure	303 F	0.0002	<0.0002	<0.0002	0.0012	0.0006	0.0004	<0.0002
Nickel	303 A	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Plomb	303 A	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Zinc	303 A	0.05	<0.05	<0.05	0.12	<0.05	0.40	<0.05
Fer	303 A	0.05	0.20	0.17	131	3.9	13.3	0.28

Tous les résultats sont exprimés en mg/l.

LAB ELITE LTEE

Dominic Ziccardi

DOMENIC ZICCARDI, CHIM. P.

LAB-ELITE LTEE

Montréal, le 20 décembre 1991

MONTERVAL
3245, Grande Allée
Boisbriand, Qc
J7H 1E4

A/S: M. Robert Morin

RE: ANALYSES CHIMIQUES

VOTRE PROJET: MQ-153
NOM: Solbec-Cupra
NATURE DES ECHANTILLONS: Eaux
DATE RECU: 13 nov 1991

PARAMETRES	METHODE	LIMITE DE DETECTION	BRB-3-1	BRB-3-2	P-4	P-5	P-6
Alcalinité	403	1	68	83	*	389	432
Cyanures Totaux	412 B-E	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Cyanures Disponibles	412 E	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Dureté Totales	313 B	2	118	146	3235	230	306
Sulfates	426 C	5	59	59	4494	31	58
Arsenic	303 E	0.005	<0.005	<0.005	0.009	<0.005	<0.005
Calcium	303 A	0.1	30	40	569	62	32
Cadmium	303 A	0.001	<0.001	<0.001	0.011	<0.001	<0.001
Chrome	303 A	0.01	<0.01	<0.01	0.03	<0.01	<0.01
Cuivre	303 A	0.02	<0.02	<0.02	2.47	<0.02	<0.02
Magnésium	303 A	0.05	5.6	6.4	436	19.5	54.8
Mercure	303 F	0.0002	<0.0002	<0.0002	0.0007	<0.0002	<0.0002
Nickel	303 A	0.01	<0.01	<0.01	0.19	<0.01	<0.01
Plomb	303 A	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Zinc	303 A	0.05	<0.05	0.10	5.46	<0.05	<0.05
Fer	303 A	0.05	<0.05	<0.05	472	0.21	0.10

Tous les résultats sont exprimés en mg/l.

NOTE: * Pas assez d'échantillon.

LAB ELITE LTEE

DOMENIC ZIOGARDI, GEOL. P.

LAB-ELITE LTEE

Montréal, le 19 août 1991

Montarval [L.G.L. Env.]
3245 Grande Allée
Boisbriand, Qc
J7H 1E4

A/S: M. Colette Rainville

RE: PROJET: HG-153

ECHANTILLONS	BACTERIES TOTALES/G
89-B-1	160,000
89-B-2	320,000
89-B-3	2,000
90	26,000
91	<10

LAB ELITE LTEE

DR. ASHER ELCABAS

APPENDICE I

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

APPENDICE I

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. DAVE, N.K. et LIM, T.P., 1989. "Wetlands and their Role in Treating Acid Mine Drainage. A Litterature Review". MRL 89-107 (LS). Elliot Lake Laboratory, Ontario. 22 pages et annexes.

2. DAVE, N.K., LIM, T.P., VIVYURKA, A.J., BIHARI, B. and KAY, D.A., 1990. "Development of Wet Barriers on Pyritic Uranium Tailings". Elliot Lake, Ontario. 16 pages.

3. DAVE, N.K. and MICHELUTTI, R.E., 1991. "Field Evaluation of Wet Cover Alternatives of High Sulphide Tailings, Final Report". Elliot Lake Laboratory, Ontario. 21 pages.

4. DOEPKER, R.D. and DRAKE, P.L., 1991. "Laboratory Study of Submerged Metal-Mine Tailings 3: Factors influencing the Dissolution of Metals". Proceedings, Second International Conference of the Abatement of Acidic Drainage, Montréal, Québec. 16 pages.

5. GRENIER, R.A. et MARCOUX, L., 1990. "Simulation de l'inondation du parc à résidus Solbec-Cupra". Projet SIM-88T122, Centre de recherches minérales, Québec. 20 pages et annexes.

6. GRENIER, R.A. et MARCOUX, L., 1991. "Expérimentation en chantier de l'inondation, Phase II, Solbec-Cupra". Projet SIM-90T601, MEDER 2.13.2, Centre de recherches minérales, Québec. 34 pages et annexes.

7. RESCAN ENVIRONMENTAL SERVICES LTD., 1989. "Subaqueous Disposal of Reactive Mine Wastes: An Overview". MEND 2.11.1a, Vancouver, B.-C.

8. ROCHE LIMITÉE, 1987. "Assainissement des eaux et revitalisation des terres, Parc à résidus des mines Solbec et Cupra". Ste-Foy, Québec. 104 pages et annexes.

MONTERAL

APPENDICE 7

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

9. STEFFEN, ROBERTSON and KIRSTEN (B.C.) INC., 1988. "Cover Technology for Acid Mine Drainage Abatement: Litterature Survey for Norwegian State Pollution Control Authority". Rapport No 64701/1.

10. STEFFEN, ROBERTSON and KIRSTEN (B.C.) INC., 1989. "Guide technique préliminaire sur le drainage rocheux acide". Vol. I, Vancouver, C.-B.

MAPS
NOT
FILMED

CARTES
OMISES